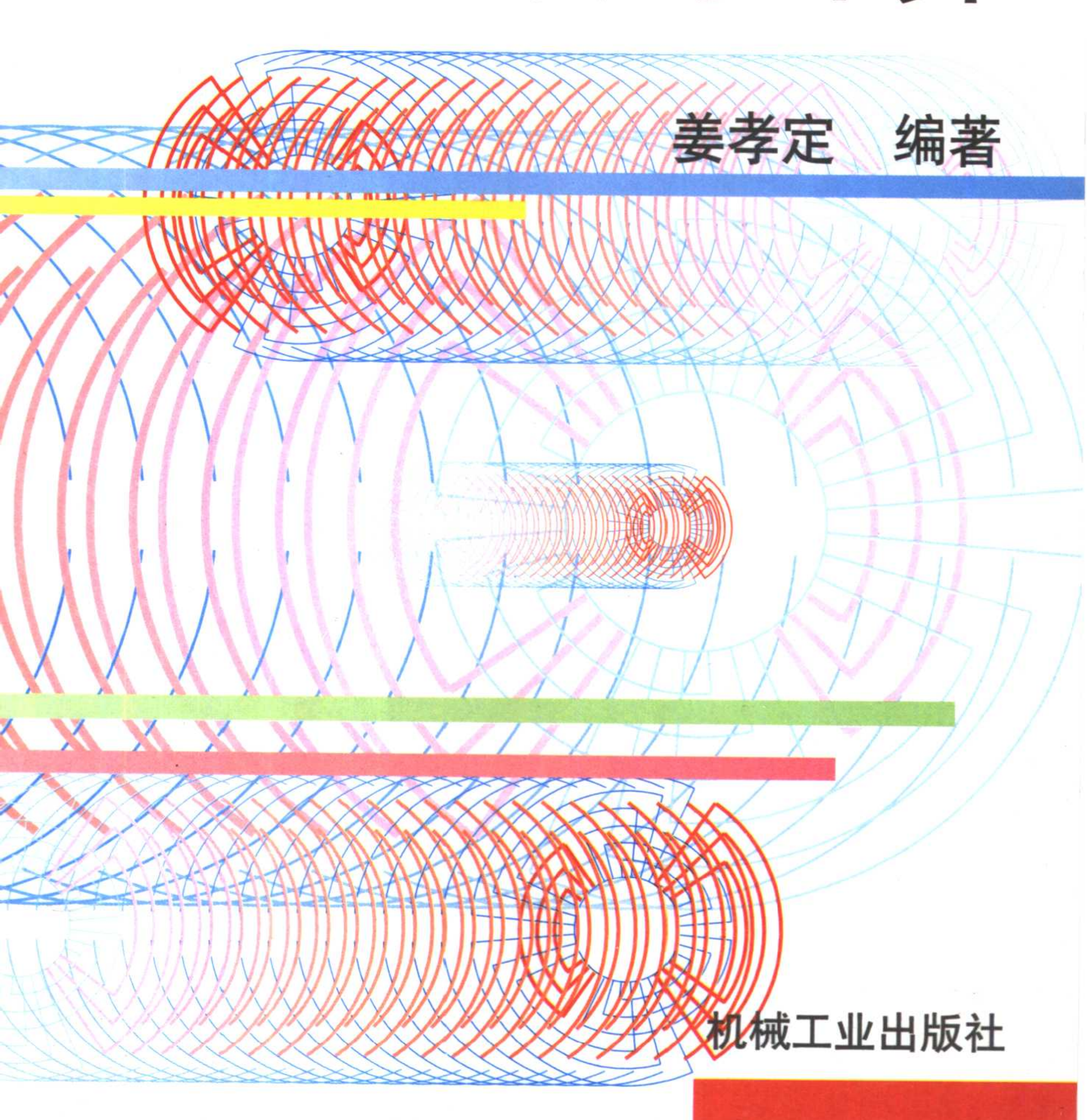
电工实用技术丛书

三相异步电动机绕组改接与计算



姜孝定 编著

机械工业出版社

ISBN 7-111-05830-5/TM·683

封面设计·电脑制作：姚毅

电工实用技术丛书

1. 交流电机绕组的嵌装与接线
2. 三相异步电动机绕组改接与计算
3. 怎样拆修小型电动机
4. 家用电器用单相电动机的原理与维修
5. 机床电气设备的维修
6. 电灯的安装与维修
7. 怎样安装低压电力线路



定价：11.00元

电工实用技术丛书

三相异步电动机绕组改接与计算

姜孝定　编著



机 械 工 业 出 版 社

本书适用于各种感应电机类三相异步电动机的修理和改造。主要内容包括三相异步电动机的基本知识、三相绕组知识、正弦绕组知识、三相绕组改接成正弦绕组的简易计算及其改接实例。书末还附有Y系列三相异步电动机三相绕组、正弦绕组的技术数据和常用圆铜线的规格等。经过上述改造后的三相异步电动机，可显著提高功效、节约能源、降低原材料消耗。

图书在版编目（CIP）数据

三相异步电动机绕组改接与计算/姜孝定编著.-北京：机械工业出版社，1997.12

（电工实用技术丛书）

ISBN 7-111-05830-5

Ⅰ.三…　Ⅱ.姜…　Ⅲ.三相电机：异步电机-绕组　Ⅳ.TM343

中国版本图书馆CIP数据核字（97）第15235号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）

责任编辑：高　科　崔世荣　版式设计：霍永明

责任校对：熊天荣　　封面设计：姚　毅

责任印制：何全君

北京交通印务实业公司印刷·新华书店北京发行所发行

2000年1月第1版第3次印刷

787mm×1092mm　1/32·6.875印张·149千字

7 501－10 500册

定价：11.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前　　言

本书着重推荐正弦绕组在三相异步电动机修理中的应用。由于此种绕组能消除或削弱电动机中的高次谐波，使电动机功率有所提高、振动和噪声有所减小、损耗和温升有所降低，从而改善了电动机的性能，且节约了电能。

书中简要介绍了三相异步电动机的基本原理、三相绕组的基本知识、正弦绕组的构成原则、三相绕组改接成正弦绕组的简易计算，列举了改接实例，并附有三相绕组改接成正弦绕组的数据简表，以供参考。

本书图形和文字符号均采用现行国家标准，实例中的电动机型号均为 Y 系列电动机。

本书通俗易懂，内容实用，计算简洁，适于广大电机修理工人自学，也可作为电工培训班教学用书。

由于编者理论水平和实践经验所限，书中错误或不妥之处难免，恳切希望读者提出批评指正。

编者

目　录

第一章　三相异步电动机基本知识

三相异步电动机[一]具有结构简单、运行可靠、维护方便、效率高、重量轻、价格低等特点，是生产中应用最广泛的一种动力机械。在工业方面，它被广泛应用于拖动各种机床、起重机、水泵等设备；在农业方面，它被应用于拖动排灌机械、脱粒机、粉碎机以及其他农副产品加工机械等。

第一节　三相异步电动机的结构

三相异步电动机主要由静止的定子和旋转的转子两部分组成，外加端盖和风扇等附件。图 1-1 为 Y 系列（IP23）电动机典型结构图，图 1-2 为 Y 系列（IP44）电动机典型结构图。

一、定子

定子由定子铁心、定子绕组和机座 3 部分组成。

定子铁心是电动机磁路的一部分，Y 系列电动机采用 0.5mm 厚的 DR510—50 热轧硅钢片叠压而成，片间涂以绝缘漆，以减少涡流损耗。定子铁心内圆开有定子槽，槽内嵌放定子绕组。容量较大的异步电动机，定子铁心沿轴向分段，段与段之间设有径向通风沟，以利于铁心散热。

定子绕组是电动机的电路部分，由许多线圈联结而成。Y

㊀ 本书所述异步电动机，专指各类感应电机类异步电动机，不包括交流换向器异步电动机、开关磁阻式异步电动机。

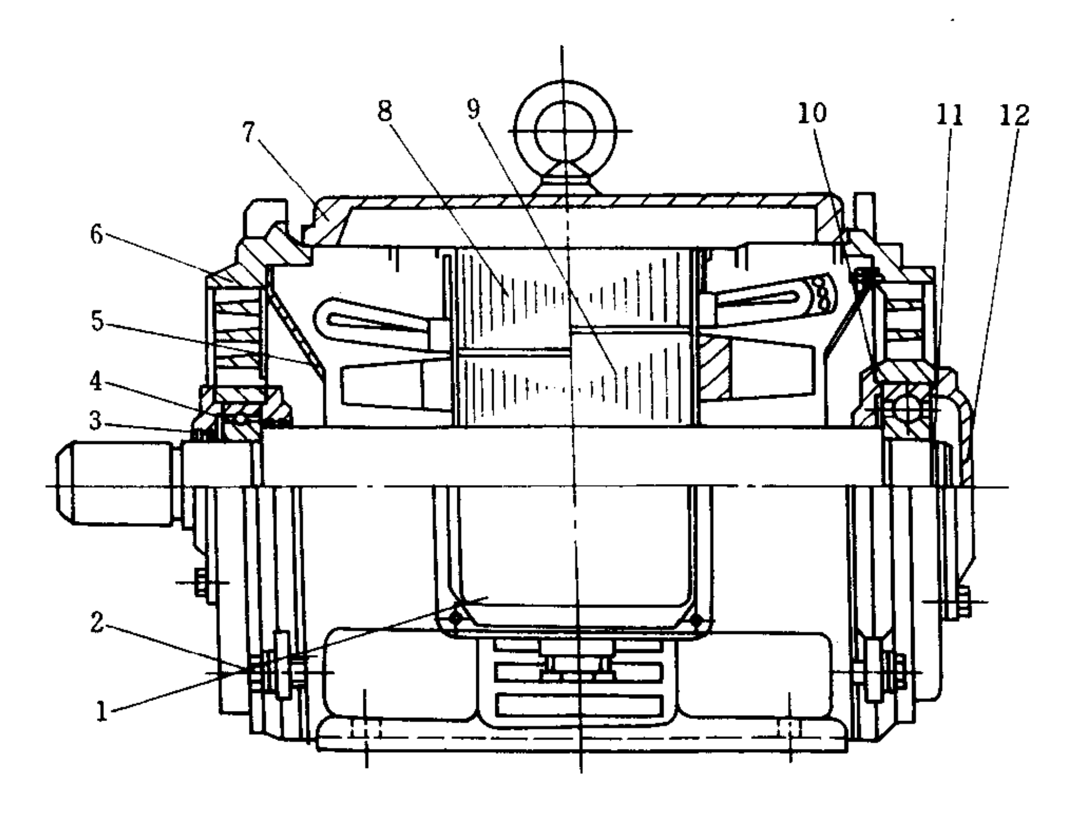


图 1-1　Y 系列（IP23）电动机典型结构图

1—接线盒　2—紧固件　3、12—轴承外盖　4—轴承
5—挡风板　6—端盖　7—机座　8—定子铁心
9—转子　10—轴承内盖　11—轴用挡圈

系列电动机定子绕组采用温度指数为 155 的聚酯漆包圆铜线(型号为 QZ-2) 绕制而成。每个线圈有 2 个有效边，分别嵌放在 2 个定子槽内，用槽楔固定。Y 系列电动机槽绝缘采用复合绝缘材料 DMDM 或 DMD。绕组端部相间垫入与槽绝缘相同的复合绝缘材料，作为相间绝缘。当采用双层绕组时，在槽上、下层线圈之间垫入与槽绝缘相同的复合绝缘材料作为层间绝缘。槽楔可采用成形的 MDB 复合槽楔、新型的引拔槽楔或 3240 环氧酚醛层压玻璃布板，线圈之间按一定规律联结，构成三相绕组。

中小型电动机的机座是整个电动机的支承件，承受运转

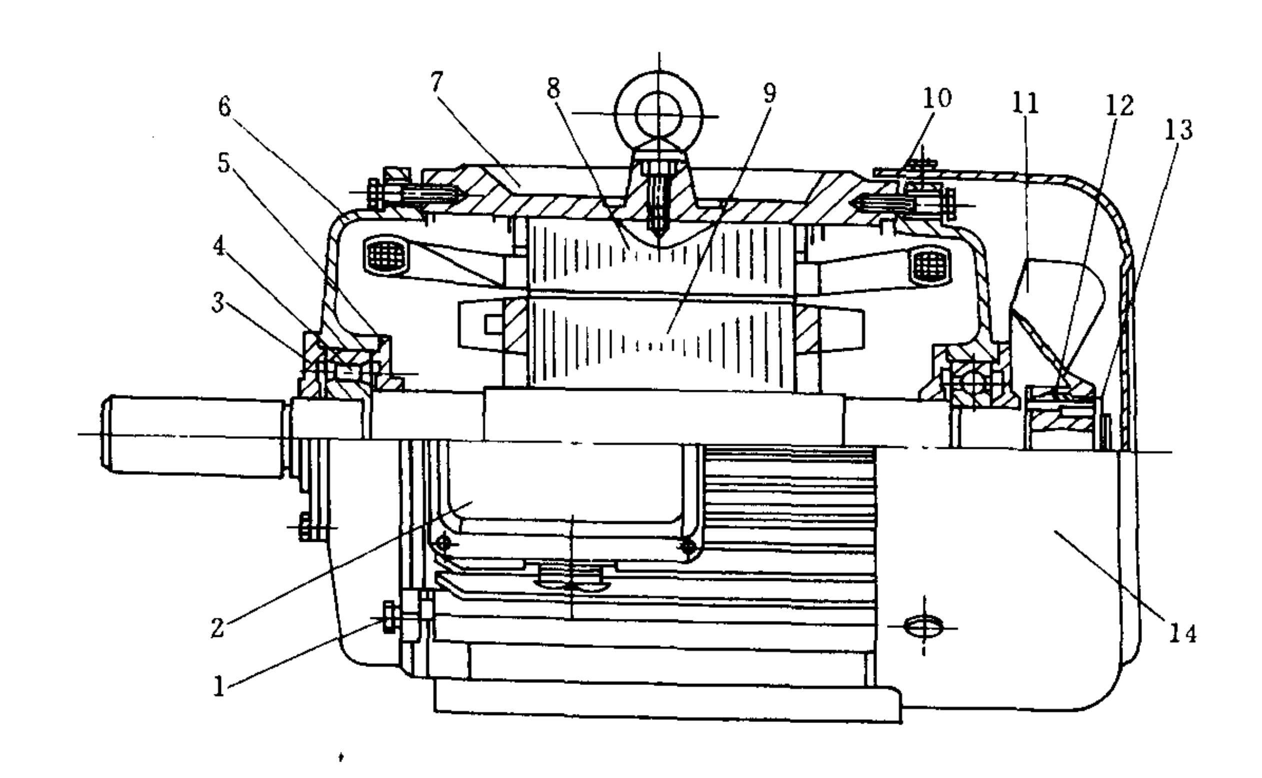


图 1-2 Y 系列（IP44）电动机典型结构图

1—紧固件 2—接线盒 3—轴承外盖 4—轴承
5—轴承内盖 6—端盖 7—机座 8—定子铁心
9—转子 10—风罩 11—外风扇 12—键
13—轴用挡圈 14—外风扇罩

过程中的各种作用力，为此，必须有足够的强度和刚度。Y 系列电动机机座材料采用灰铸铁，底脚设有加强肋，机座壁厚为 7mm～15mm。Y 系列(IP23)电动机机座考虑了径向通风，在机座两侧开设出风口，通风效果较好。Y 系列（IP44）电动机机座有辐射形分布的散热片，定子铁心紧贴在机座的内壁，电动机在运转时由损耗产生的热量通过铁心传给机座，再由机座散发到空气中去，机座表面的散热片增大了机座的散热面积，散热效果较好。

二、转子

三相异步电动机的转子分为笼型和绕线转子两种类型，均由转子铁心、转子绕组和转轴 3 部分组成。

转子铁心也是电动机磁路的一部分，同样也由 0.5mm 厚的硅钢片叠压而成。铁心是压装在转轴上的，较大的电动机，转子铁心压在支架上，支架再装在转轴上。转子铁心外圆开有转子槽，槽内放置转子绕组。

笼型转子的槽内放置裸导体，两端分别焊接在两个铜环（称为端环）上，这种转子绕组形似鼠笼，通称笼型转子。中小容量异步电动机的转子一般用熔化的铝铸满转子槽，同时铸出两端的端环和风扇叶片。

绕线转子的绕组和定子绕组一样，也为三相绕组。转子绕组嵌放在转子槽内，接成星形（Y），3 根引出线分别接到非轴伸端互相绝缘的 3 个集电环上，可以通过电刷将转子各相绕组与外接启动电阻或调速电阻联接，见图 1-3。中等容量以上的电动机装有提刷短路装置，在电动机启动完毕而又不需要调速时，可扳动手柄，将电刷提起，并将 3 个集电环短路，这样可以减少摩擦损耗和电刷磨损

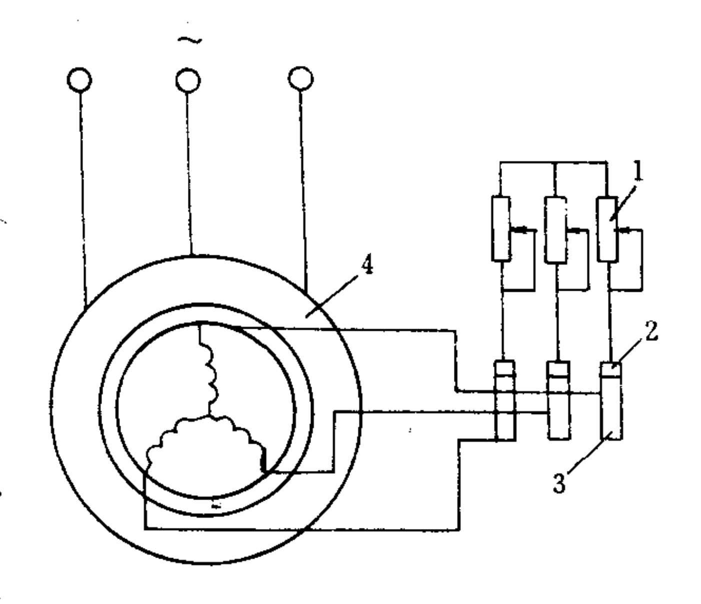


图 1-3　绕线转子异步电动机转子串接电阻

1—外接可变电阻　2—电刷　3—集电环　4—绕线转子异步电动机

转轴由成形圆钢加工而成，其作用是支承转子铁心并传递转矩，需要有一定的强度和刚度。

三、端盖及其他附件

中小型异步电动机上有由灰铸铁铸成的端盖，其上设有加强肋，以保证足够的机械强度。端盖内装有球轴承或滚子轴承，用以支承转子，保证定子、转子之间有均匀的气隙。为了减小电动机磁路的磁阻，从而减小励磁电流，提高功率因数，异步电动机定子与转子之间的气隙应尽可能做得小些，但考虑到机械加工误差、轴承磨损和单边磁拉力等因素，气隙也不能太小，一般中小型异步电动机的气隙为 0.2mm～2mm。

为了使轴承中的润滑脂不受污染和外溢，前、后轴承均设有内、外轴承盖。Y 系列（IP44）H80～132 电动机机座的端盖与外轴承盖铸成一体，具有装配方便，节省工时等优点。

封闭式异步电动机后端盖外装有风扇和外风罩，风扇随转子旋转时，风由风罩上的进风孔进入，由风扇扇向散热片，以加强冷却。

第二节　旋转磁场的形成

三相异步电动机定子绕组接通三相电源后，即能在空间形成以一定转速旋转的旋转磁场。由于旋转磁场与转子导体之间有相互切割作用，转子导体中便产生感应电动势和电流。转子导体中的电流与磁场相互作用，产生电磁力和电磁转矩，使转子能按旋转磁场的方向转动，因此，旋转磁场是异步电动机工作的基础。

图 1-4 为一最简单的三相定子绕组，每相只有一个线圈，分别以 U1、U2、V1、V2、W1、W2 表示，它们在空间彼此相隔 120°。若将三相绕组按 Y 形联结后接到三相电源上，三相绕组内就会流过三相对称电流，其波形见图 1-5。三相电流

的数学表达式为

$$\left.\begin{aligned} i_u &= I_m \sin\omega t \\ i_v &= I_m \sin(\omega t - 120°) \\ i_w &= I_m \sin(\omega t - 240°) \end{aligned}\right\} \tag{1-1}$$

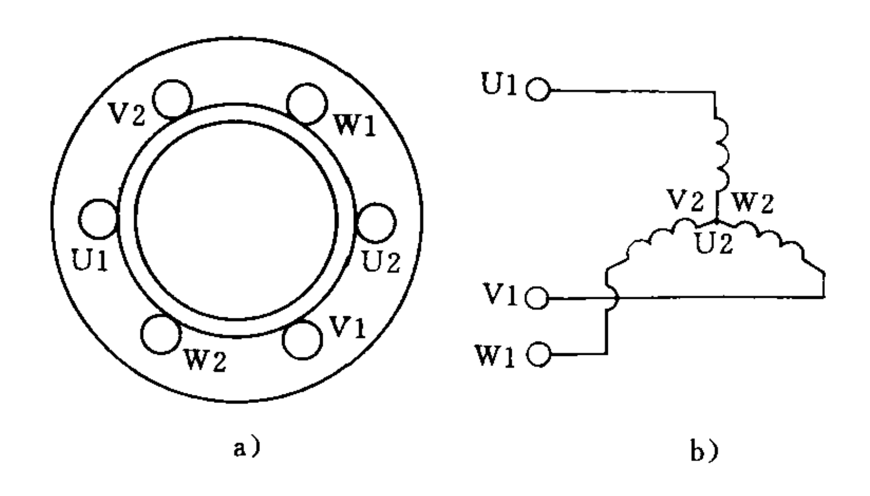


图 1-4　三相定子绕组

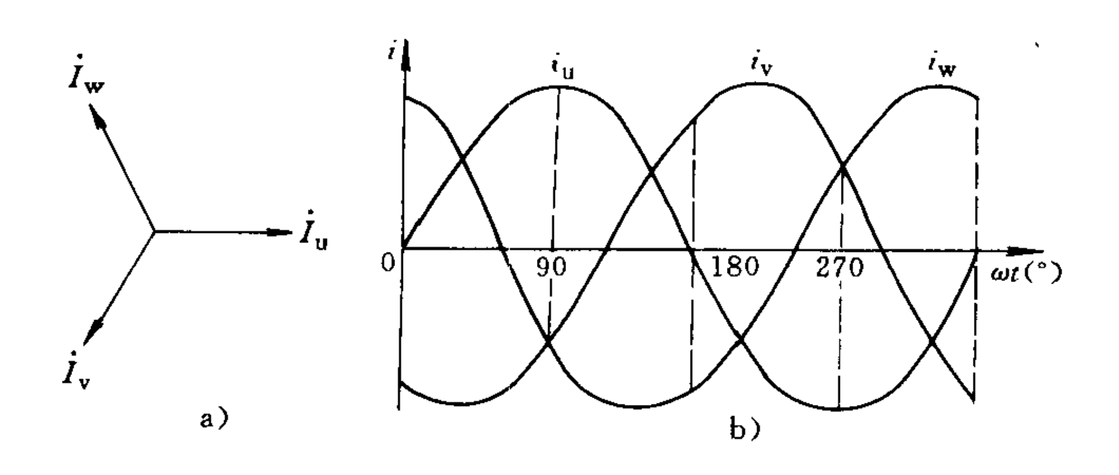


图 1-5　三相正弦交流电流

a）相量图　b）波形图

每相绕组电流都将产生磁场，三相绕组电流将共同形成一个合成磁场。下面将以几个特殊的时刻为例子用作图的方法来证明此合成磁场是一旋转磁场。

为分析方便，假定每相绕组电流的正方向是从首端 U1、

V1、W1 流入（用⊗表示），从尾端 U2、V2、W2 流出（用⊙表示）。当电流为正值时，表示电流的实际方向与假定的正方向相同；电流为负值时，表示电流的实际方向与假定的正方向相反。磁场的方向则根据电流的流向按右手螺旋定则来确定。

当 $\omega t=0$ 时，由式(1-1)或图 1-5 可知：$i_u=0$、$i_v=-\sqrt{3}/2I_m$、$i_w=\sqrt{3}/2I_m$，将各相电流方向表示在各相线圈的剖面图上，V 相电流为负值，从 V2 流入，由 V1 流出；W 相电流为正值，从 W1 流入，由 W2 流出，如图 1-6a 所示。按右手螺旋定则，可以确定合成磁场的方向向右。用同样的方法，可以作出 $\omega t=90°$、$\omega t=180°$、$\omega t=270°$这 3 个特定瞬间的电流和合成磁场的方向，分别见图 1-6b、c、d。

分析比较图 1-6a、b、c、d 可以看出，三相绕组电流形成的合成磁场是随时间在空间旋转的，故称为旋转磁场。每当 ωt 变化了 90°，磁场就按顺时针方向在空间转过 90°；当 ωt 变化了 360°时，电流变化了一个周期，磁场也就重新回到原来的位置。这说明在 2 极电动机中，电流变化一个周期，旋转磁场在空间也正好转过一圈，即 360°。电流每秒钟变化 f 周（称为电流的频率），则旋转磁场每秒钟在空间也转过 f 圈。我国交流电的频率为 $f=50\text{Hz}$，所以 2 极异步电动机旋转磁场的转速为

$$n_1=f=50\quad \text{r/s}$$

或

$$n_1=60f=3000\quad \text{r/min}$$

如果将三相绕组按图 1-7 安排，图 1-7a 画出了 $\omega t=0$，$i_u=0$、$i_v=-\sqrt{3}/2I_m$、$i_w=\sqrt{3}/2I_m$ 时的电流和磁场的分布情况，它为一个 4 极磁场。当 ωt 每经过 90°，从图中可以看出

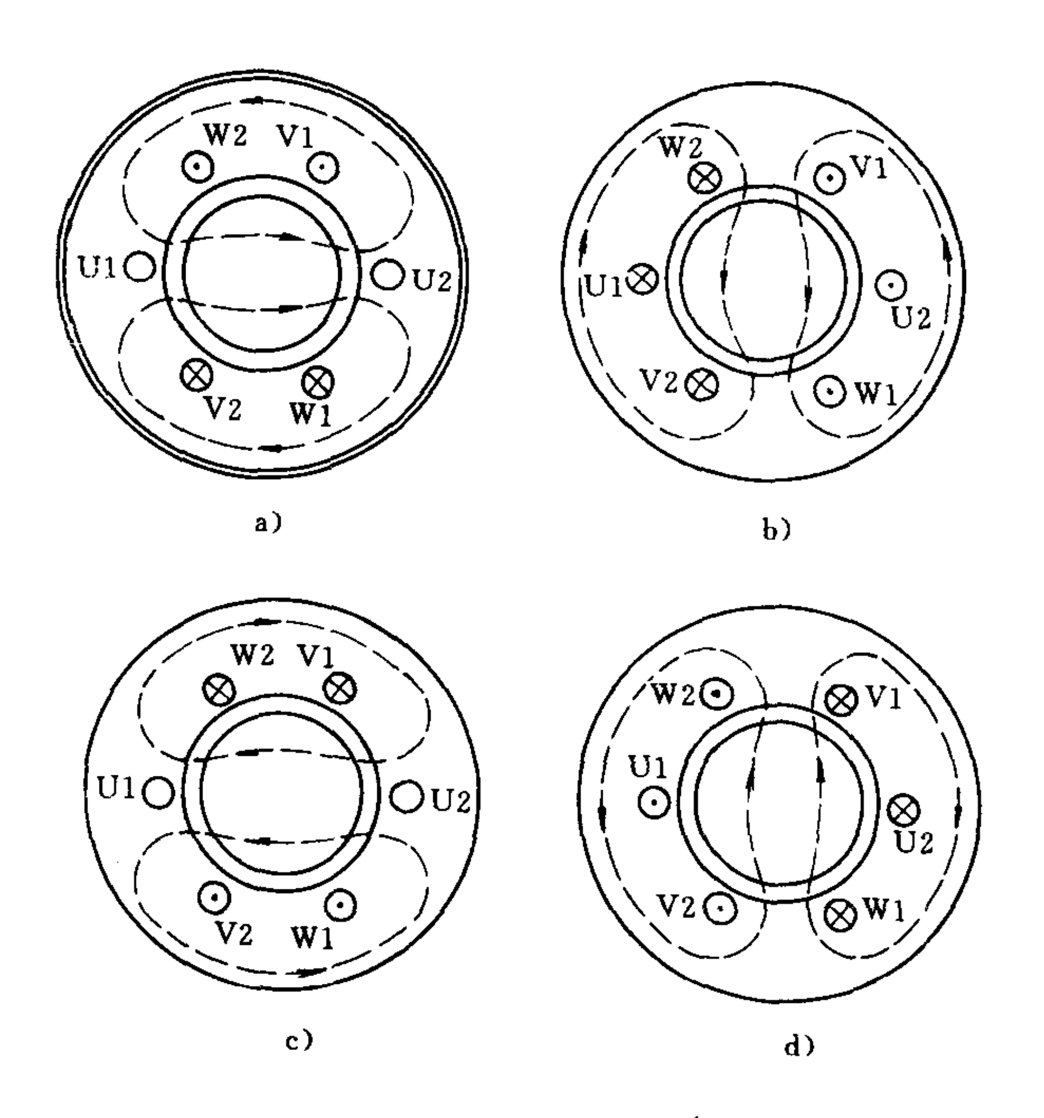


图 1-6　三相异步电动机的旋转磁场

a) $\omega t=0$　$i_u=0$　$i_v=-0.866I_m$　$i_w=0.866I_m$

b) $\omega t=90°$　$i_u=I_m$　$i_v=i_w=-0.5I_m$

c) $\omega t=180°$　$i_u=0$　$i_v=0.866I_m$　$i_w=-0.866I_m$

d) $\omega t=270°$　$i_u=-I_m$　$i_v=i_w=0.5I_m$

磁场相应地在空间按顺时针方向转过 45°。电流变化了一个周期(即 ωt 经过 360°)，磁场在空间旋转了半圈。对于频率 $f=50\text{Hz}$ 的电流，4 极电动机旋转磁场的转速 $n_1=f/2=25\text{r/s}$ 或 $n_1=60f/2=1500\text{r/min}$，它是 2 极旋转磁场转速的一半。

只要适当地安排绕组，便可得到 3 对极、4 对极或 p 对极的旋转磁场。按照前述的方法分析，同样可以求得它们的转

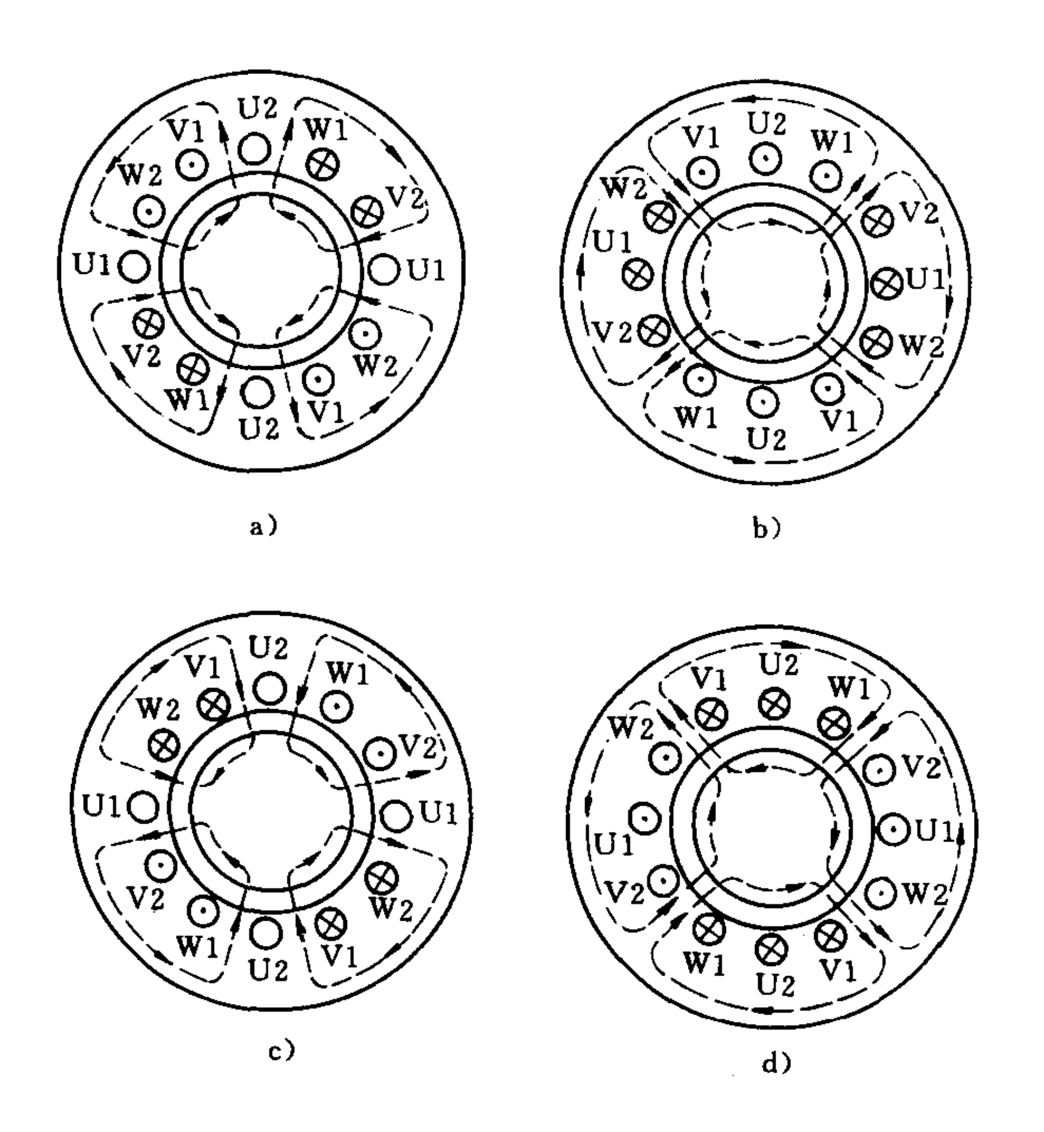


图 1-7　4 极电动机的旋转磁场

a）$\omega t=0$　b）$\omega t=90°$　c）$\omega t=180°$　d）$\omega t=270°$

速。3 对极时，$n_1=60f/3=1000\text{r/min}$；4 对极时，$n_1=60f/4=750\text{r/min}$……。当电动机为 p 对极时，其旋转磁场的转速为

$$n_1=\frac{60f}{p} \tag{1-2}$$

如果将接入定子绕组的三相电源任意两相对调 1 次，例如将 V、W 两相对调，见图 1-8，原来磁场按顺时针方向旋转（图 1-6），现在便按逆时针方向旋转了（图 1-8），即改变了磁场的旋转方向。

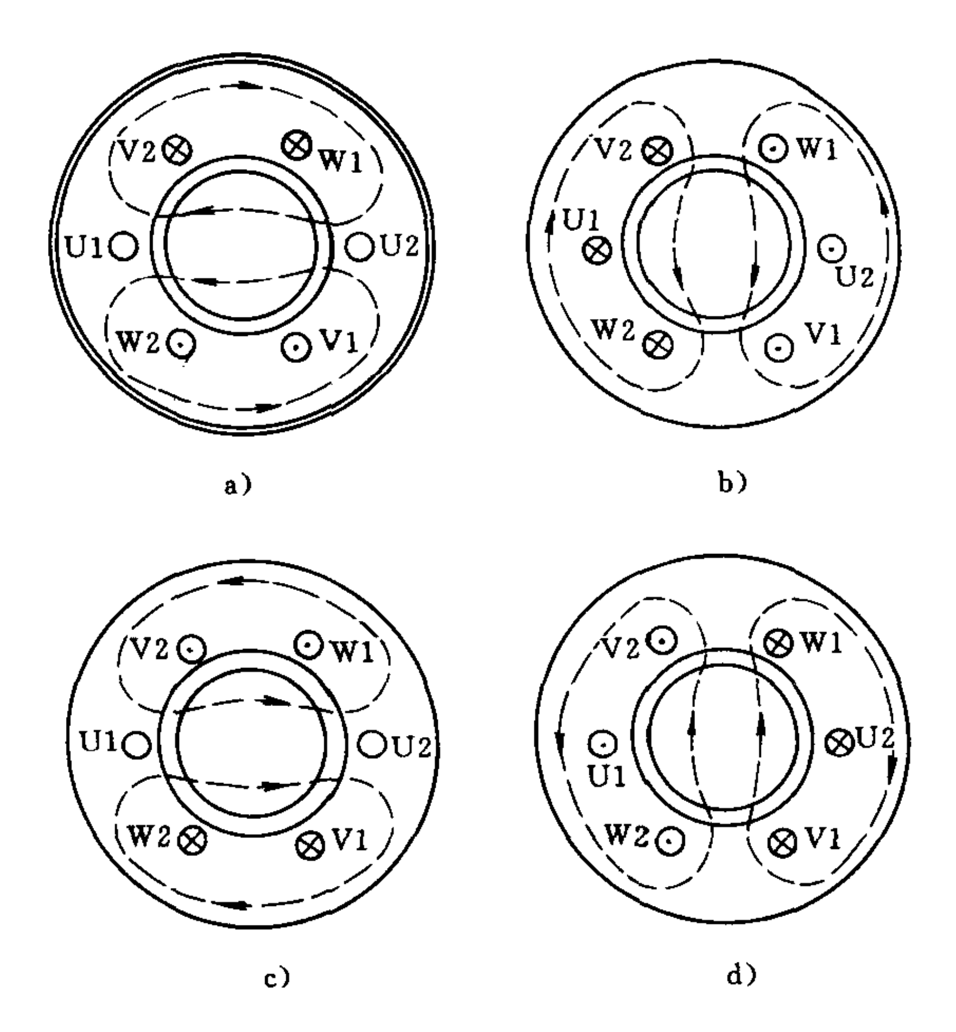


图 1-8 改变磁场的旋转方向

a) $\omega t=0$ b) $\omega t=90°$ c) $\omega t=180°$ d) $\omega t=270°$

第三节 三相异步电动机的工作原理

将三相异步电动机的三相定子绕组接通三相电源，流过三相电流，在电动机中便形成转速为 n_1 的旋转磁场，如图 1-9 所示。

当磁场以 n_1 的转速逆时针方向旋转时，转子对磁场具有反方向的相对转速，使得转子导体切割磁力线产生电动势，其方向按右手定则判断，在 N 极下转子导体电动势方向为⊗，而在 S 极下为⊙，如图 1-9 所示。由于转子绕组自成闭合回路，在转子导体中便有电流流过，其方向与电动势方向相同。

转子导体中的电流与气隙中的磁场作用，产生电磁力，形成电磁转矩，带动异步电动机的转子旋转。电磁力的方向按左手定则判断，在N极下，转子导体产生的电磁力向左，而在S极下则向右。此电磁力对转轴产生一逆时针方向的电磁转矩，转子则在电磁转矩的作用下，沿逆时针方向即沿着旋转磁场的方向转动。

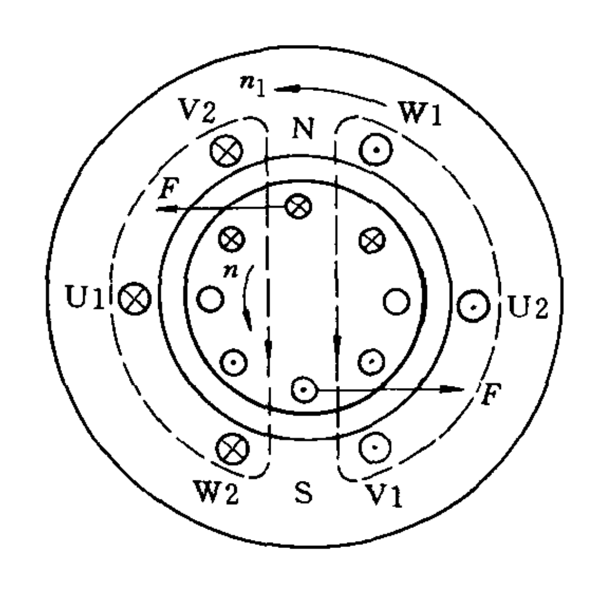


图 1-9　三相异步电动机的工作原理

转子的旋转速度 n 越快，转子导体与定子旋转磁场的相对转速 (n_1-n) 就越小，转子导体因切割旋转磁场的磁力线而产生的电动势和电流也就越小。若转子转速 n 正好等于旋转磁场的同步转速 n_1，转子导体与旋转磁场之间便没有了相对运动，于是转子导体上就不会产生电动势和电流，也就不会产生电磁力和电磁转矩了。但是，电动机即使在没有外加负载的情况下（空载运行时），它的风扇和轴承也有一定的摩擦阻力，转子铁心和转子绕组都要损耗一定功率，损耗的功率将产生阻力转矩，迫使转子转速 n 必须略低于同步转速 n_1，以便转子导体中产生一定的电动势和电流，形成一定的转矩来克服阻力转矩。这种转速之差通常用同步转速 n_1 的百分率表示，称为转差率，以 s 表示。

$$s=\frac{n_1-n}{n_1}\times 100\% \tag{1-3}$$

异步电动机空载时，由于空载阻力矩很小，转差率 s 一般只有 0.4%～0.7%，因此转子转速非常接近同步转速。

当电动机拖动生产机械工作时，即电动机有机械负载时，阻力转矩将增大，于是转子转速相应下降，转差率 s 增大，转子绕组中的电动势和电流、电磁力和电磁转矩也增加，增加的旋转转矩刚好克服被拖动的机械负载的阻力转矩，使电动机稳定运行。

从力学的基本知识可知，转速×转矩＝功率。这时，电动机就对外加负载输出了机械功率。与此同时，由于转子绕组中的电流增大，通过气隙旋转磁场的相互作用，使定子绕组中的电流也相应增加，换句话说，电动机从电源线路中吸取的电功率也相应地增加了。异步电动机就是这样将电能转换为机械能的。

对于一般中小型异步电动机，在铭牌上所规定的额定电压和额定负载情况下，额定转差率约为 2%～7%。

由于这种电动机的转子转速一般都在低于同步转速的情况下运行，因此是一种异步电动机。这种异步电动机的转子绕组不直接与电源线路联接，而是靠旋转磁场的电磁感应作用来产生机械功率，因此称为感应电动机。

异步电动机的转子是顺着旋转磁场的方向旋转的，因此，当需要改变电动机的旋转方向时，只要改变旋转磁场的旋转方向，即将定子绕组的任意两相线对调一下再接入电源，即可达到改变转子转向的目的。

第四节　三相异步电动机铭牌数据、额定值

铭牌安装在电动机的外表面显著的地方，是电动机的主要标志元件。铭牌上载明电动机的简要数据，以便用户正确选择和使用电动机。在电动机维修时，铭牌数据是绕组重绕计算的重要依据，所以，我们必须正确地了解铭牌。

一、异步电动机的铭牌数据

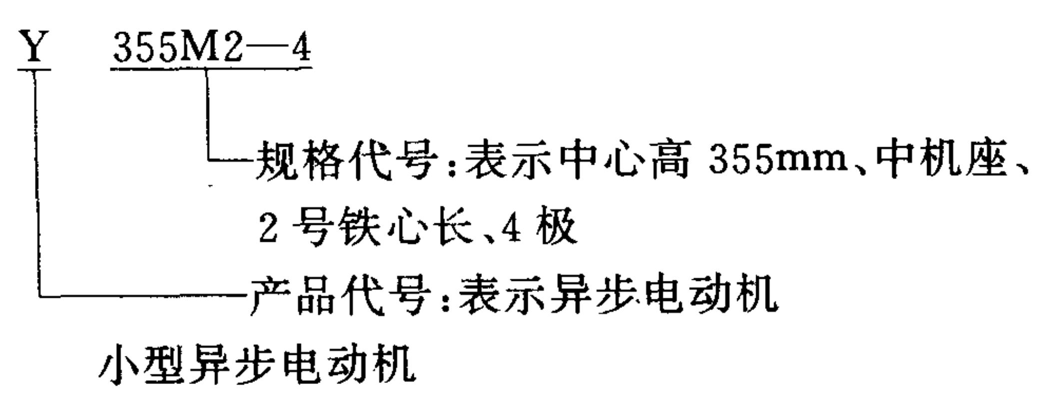
表 1-1 是 Y90L—4 型三相异步电动机的铭牌，现简要说明如下。

表 1-1

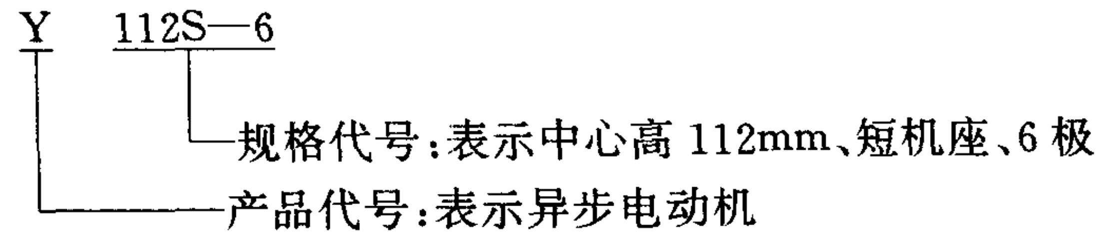
型　号	Y90L—4	电　压	380V	接法	Y
容　量	1.5kW	电　流	3.7A	工作方式	连续
转　速	1400r/min	功率因数	0.79	温升	75℃
频　率	50Hz	绝缘等级	B	出厂日期××年××月	
制造：×××电机厂		产品编号：××××		重量：××kg	

1. 型号　电动机的型号一般采用大写的汉语拼音字母和阿拉伯数字组成。其中，汉语拼音字母是选择电动机的全名称中有代表意义的汉字的第一个拼音字母。例如中、小型 Y 系列三相异步电动机的型号及意义举例如下：

中型异步电动机



小型异步电动机



2. 额定值　异步电动机的额定值包含下列内容：

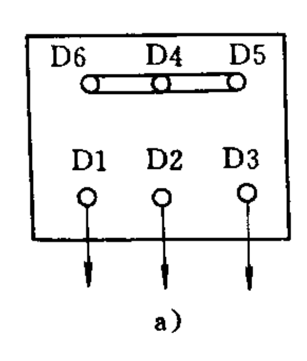
(1) 额定功率 P_N　指电动机在额定运行时轴上输出的机

械功率，单位是 kW。

(2)额定电压 U_N 指额定运行状态下加在定子绕组上的线电压，单位为 V。电压变动一般不应超过铭牌规定值的 ±5%。电压过高或过低都可能引起电动机过热。电压过低还会造成启动困难。

(3) 额定电流 I_N 指电动机在定子绕组上加上额定电压、轴上输出额定功率时，定子绕组中的线电流，单位为 A。

(4) 接法 指在额定电压下，电动机三相绕组联结方式(星形或三角形)。一般电动机三相绕组的首末端均引到出线板上，见图 1-10。三相绕组可以接成星形(Y)或三角形(△)，但必须按铭牌上规定的接法联结，才能正常运行。如规定为星形联结而错接成三角形，则电动机绕组很快就会烧坏；反之，如规定为三角形联结，而误接成星形，则电动机输出功率就会降低很多，甚至不能带动负载运行。



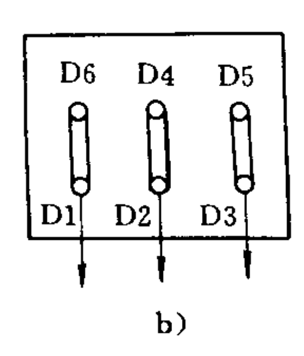


图 1-10 出线板联结

a) 星形联结 b) 三角形联结

(5) 额定频率 f_1 我国规定工业电源标准频率为 50Hz。

(6) 额定转速 n_N 指电动机定子在额定频率的额定电压下，轴端输出额定功率时电动机的转速，单位为 r/min。

(7) 额定功率因数 $\cos\varphi$ 指电动机在额定负载下，定子边的功率因数。

(8) 绝缘等级与温升 绝缘等级与电动机元件的温升有关。各种绝缘材料的耐温能力不一样，表 1-2 为绝缘材料的绝缘等级与允许温升的关系。

温升是指电动机运行时高出周围环境温度值。我国规定了环境最高温度为 40℃。对应各绝缘等级的温升，见表 1-2。

表 1-2

绝缘等级	A	E	B	F	H	C
绝缘允许的温度/℃	105	120	130	155	180	180 以上
电动机的允许温升/℃	60	75	80	100	125	125 以上

(9) 运行方式　连续运行是指电动机在铭牌规定的情况下可以连续不断地运行。一般电动机都是连续运行。但对特殊用途的电动机，还有“断续运行”和“短时运行”等运行方式。

(10) 技术条件　指生产电动机所必须遵循的技术规定。

一般说来，铭牌数据反映了电动机的一定特征和工作能力。在铭牌规定的额定情况下，可以保证电动机的正常运行和正常使用寿命。

第二章　三 相 绕 组

从三相异步电动机的工作原理可知，不论从电能转换成机械能以供给机械负载，还是通过电磁感应产生电磁力和电磁转矩，以拖动机械负载，都离不开定子绕组。三相异步电动机的定子绕组是三相绕组。

第一节　绕组的基本概念

一、线圈（绕组元件）

在制造和修理电动机的绕组时，都是先用绕线模把导线绕成线圈，然后按照一定规律把线圈嵌入铁心槽内，再连接成绕组。由于线圈是组成绕组的元件，所以又称为绕组元件。线圈可以是单匝或多匝的，见图 2-1。

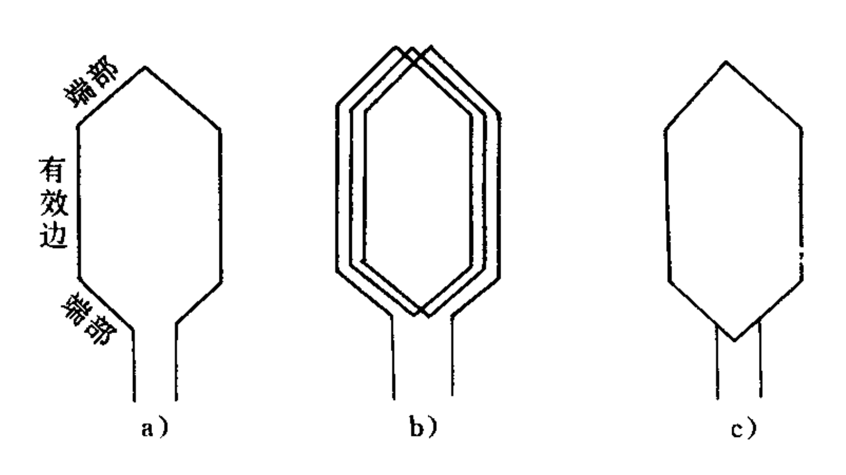


图 2-1　线圈（绕组元件）

a）单匝线圈　b）多匝线圈　c）多匝线圈简化图

线圈放在槽内的直线部分是线圈的有效部分，称为有效边。能量转换主要通过该部分进行。在槽外的部分称为端部，

它的作用仅是把线圈的两个有效边联接起来，不转换能量。为了节省材料，在不影响工艺操作的情况下，端部应尽可能缩短些。

二、极距

极距是指沿定子铁心内圆每个磁极所占的范围，用长度表示为

$$\tau_p = \frac{\pi d_s}{2p} \qquad (\text{mm})$$

式中　d_s——定子铁心的内径（mm）；

　　$2p$——磁极数。

极距也可用每极所占的槽数表示

$$\tau_p = \frac{Q_1}{2p} \qquad (\text{槽})$$

式中　Q_1——定子铁心的总槽数。

三、电角度

1台电动机定子铁心的端面是1个圆，从几何角度来说可分为360°，这样划分的角度称为机械角度。但从磁场来看，1对极便是1个交变周期。我们把1对极（即1个N极，1个S极）对应的机械角度定为360°电角。如果电动机有p对极，则

$$\text{电角度} = p \times \text{机械角度}$$

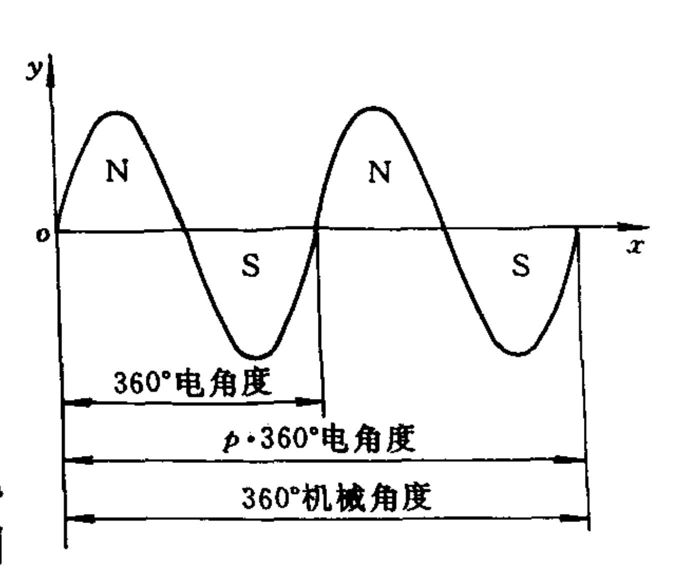


图2-2　电角度与机械角度的关系

在图2-2中，我们将电动机沿气隙展开，1个圆周用360°机械角表示。不论电动机的极数是多少（图

中是 4 极），1 个极对应 180°电角，1 对极对应 360°电角，电动机 1 个圆周对应 $p \times 360°$电角。

四、线圈的节距

1 个线圈的 2 个有效边之间所跨的槽数为线圈的节距，用符号 Y 表示。线圈的节距一般总是等于或稍少于极距。如果节距 Y 与极距 τ_p 相等，称为整距线圈；如果节距 Y 小于极距 τ_p，则称为短距线圈。

五、单层及双层绕组

三相异步电动机常用的绕组形式可分为单层绕组及双层绕组两大类。单层绕组在每槽中只安放 1 个线圈边，而 1 个线圈有 2 个线圈边，因此电动机中总的线圈数等于总槽数的一半。双层绕组每个槽中安放 2 个线圈边，其间用绝缘隔开，故每个线圈的 2 个边总是 1 个在某一槽的上层，而另 1 个则在另一槽的下层，见图 2-3。采用双层绕组时，电动机的线圈数等于槽数。单层绕组及双层绕组又有多种形式。

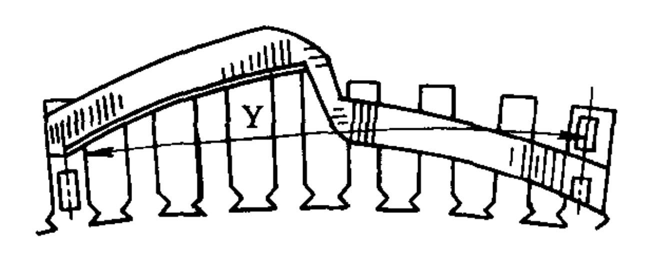


图 2-3　双层绕组端部

第二节　三相绕组的构造原则

三相绕组中通入的是三相对称电流，从图 1-6 及图 1-7 中可以看出，不论是 2 极电动机还是 4 极电动机，三相绕组的线圈 U1—U2、V1—V2、W1—W2 的始边（U1、V1、W1）及末边（U2、V2、W2）都是沿着圆周依次间隔地排列，它们的顺序都是 U1、W2、V1、U2、W1、V2。各个线圈的始边 U1、V1、W1 都间隔 120°电角。同时，由于三相对称电

流的相位互差120°电角，从图1-5可以看出，在任何瞬间，三相电流或是两相为正、一相为负；或是两相为负、一相为正；或是一相为正、一相为负、一相为零。当规定电流为正时，从绕组的始边（U1、V1、W1）流入，而从末边（U2、V2、W2）流出；电流为负时，则方向相反。这样，不论在任何瞬间，按图1-6规律排列的定子绕组中通入三相电流时，电流的流向总是在半个圆周范围内流入，而在另半个圆周范围内流出，从而产生两极磁通。按图1-7规律排列的定子绕组通入三相电流时，电流的流向总是在1/4圆周内流入，而在相邻的1/4圆周内流出，从而产生4极磁通。

图1-6及图1-7所示的是最简单的三相绕组，2极电动机仅有6个槽、3个线圈；4极电动机仅有12个槽、6个线圈。每相在每极下都只占1个槽。实际上电动机的槽数较多。例如，较常见的有2极24槽以及4极24槽或36槽电动机。这时，三相绕组在铁心槽中的分布规律仍然不变，只是每相绕组在每极下所占的槽数有所增加。由此可得出三相绕组的构造原则和每相绕组的排列步骤：

1)每相绕组所占的槽数应相等，并且在圆周上均匀分布。依照所要求的极数 $2p$，把定子槽数 Q_1 分为 $2p$ 等分，每一等分所包含的槽数 $Q_1/2p$ 便是以槽数表示的极距。然后再将每一极距下的槽数3等分，分别放置三相绕组的线圈边。因此，每相绕组在每个极下所占据的槽数为 $q=\frac{Q_1}{2p\times 3}=\frac{Q_1}{6p}$，称为每极每相槽数。

每相绕组在每个极面下所占的宽度（用电角度或槽数表示），称为相带。因为1个极距占180°电角，每个相带占1/3极距，对应为60°电角。因此，按上述规律安排的绕组称为60°

相带绕组。

2）各相绕组在空间应相互间隔120°电角。为此，我们将按上述原则划分的相带依次标注U1、W2、V1、U2、W1、V2，这样，各相绕组线圈的始边U1、V1、W1间都正好相互间隔120°电角。

按照上述规律，分别画出2极24槽以及4极24槽与36

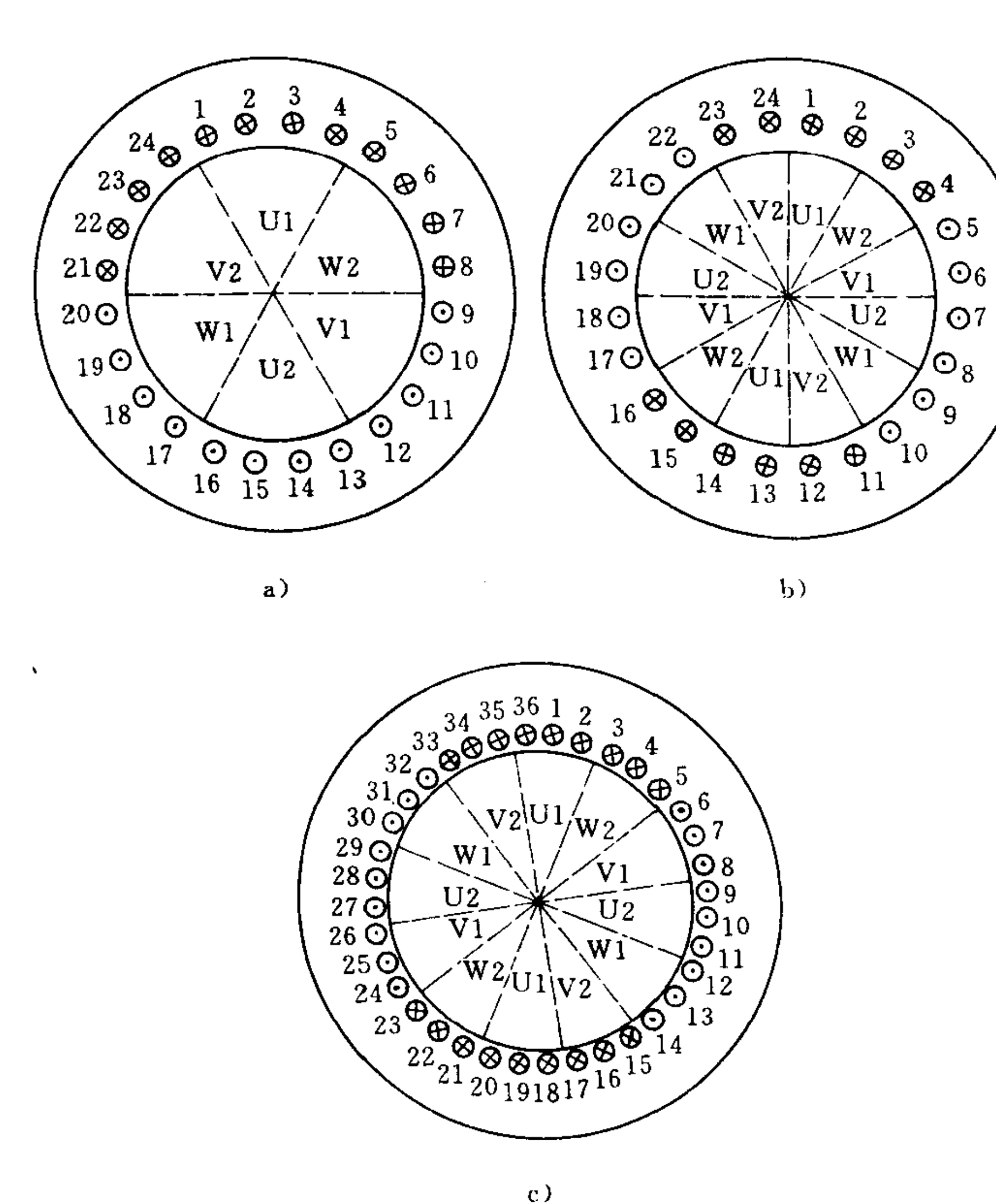


图2-4　三相绕组分布原理图

槽时三相绕组的分布情况，见图 2-4。图中，每个槽内画了 1 根导体代表线圈的 1 个边，并且把各个槽中的导体按顺序编了号。

图 2-4a 所示为 2 极电动机，整个圆周共分为 6 个相带，每个相带占 60°电角。每个相带所占的槽数，即每极每相槽数

$$q = \frac{24}{2 \times 3} = 4$$

图 2-4b、c 所示为 4 极电动机，整个圆周共分为 12 个相带，由于 4 极电动机整个圆周为 $p \times 360° = 2 \times 360° = 720°$电角，所以每个相带仍是 60°电角。$Q_1 = 24$ 时，每极每相槽数$q = \frac{24}{4 \times 3} = 2$。$Q_1 = 36$ 时，$q = \frac{36}{4 \times 3} = 3$。

在图中同时标出了代表每相绕组始边及末边所占相带的字母，并画出了当 i_u 为正，i_v、i_w 为负时的电流流向——i_u 由相带 U1 处各线圈的始边流入，从相带 U2 处流出；i_v 及 i_w 分别由相带 V2、W2 处流入，而从 V1、W1 处流出。由图可见，槽数虽然增多了，但图 2-4a 中的电流方向，在半个圆周内都是流入，而另半个圆周内则为流出，仍产生 2 极磁通。在图 2-4b、c 中，1/4 圆周范围内的电流方向一致，并与相邻的 1/4 圆周范围内电流方向相反，仍产生 4 极磁通。

上面分析了铁心圆周上的电流分布与所产生的磁通的关系。只要保持铁心圆周上电流分布的情况不变，它们产生的磁场情况也不会改变。我们顺着图中各槽导体的电流方向，分别把属于各相的导体联结起来，便可得到三相绕组。在保持电流分布不变的情况下，端部联结的方法可以不同，因而就构成了不同形式的单层绕组。

第三节　三相单层绕组

一、等元件式整距绕组

从图 2-4b 所示的 4 极 24 槽三相绕组的分布情况可以看出，U 相绕组的相带 U1 包含导体 1、2、13、14，相带 U2 包含导体 7、8、19、20。由于相带 U1 中的电流方向与相带 U2 中的电流相反，因此，相带 U1 中的任何一根导体与相带 U2 中的任何 1 根导体都可以组成 1 个线圈，而不会影响绕组产生磁场的性质。若选取 $Y=\tau_p=6$ 槽，即将导体 1 与导体 7 组成线圈 1，导体 2 与导体 8 组成线圈 2；同样，导体 13、14 分别与导体 19、20 组成线圈 13 及 14，其端面图见图 2-5a。为了说明这 4 个线圈的具体联结方法，可以设想把电动机定子铁心在 1 槽与 24 槽之间切开展平，这就可以画出绕组的展开图，见图 2-5b。由于线圈的节距相等，且等于极距，故称为等元件式整距绕组。在端面图中，导体电流的方向流入的，在展开图上电流方向以向上的箭头表示，流出的则以向下箭头表示。

在图 2-5b 中，我们顺着电流方向先把线圈 1 与线圈 2 串联成一线圈组，线圈 13 与 14 串联成另一线圈组，然后顺着电流方向把 2 个线圈组的尾与头串联成为 U 相绕组。也可以将这 2 个线圈组并联，为了保持电流分布情况不变，应将头与头联结、尾与尾联结，再引出接线，见图 2-5c。为了清楚起见，展开图中仅画出单匝线圈。

从图 2-4b 中我们知道：导体 5、6、11、12、17、18、23、24 属于 V 相，导体 3、4、9、10、15、16、21、22 属于 W 相。图 2-5a、b 按照同样的规律，可以画出 V 相绕组及 W 相绕组的端面图和展开图。再将三相绕组的展开图合并即可绘出图

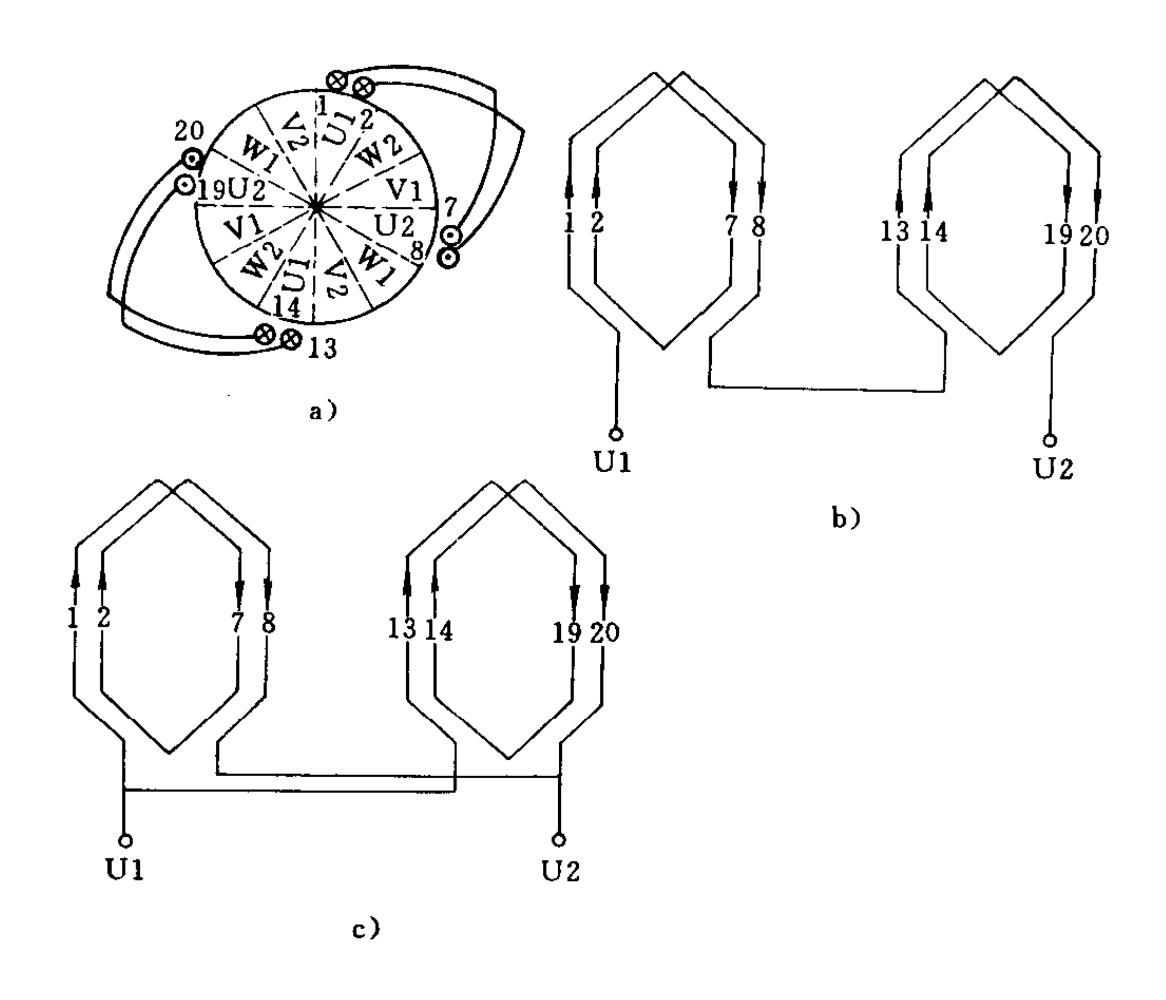


图 2-5　等元件式整距绕组

a）端面图　b）一相绕组展开图（串联）　c）一相绕组展开图（并联）

2-6 所示的三相绕组展开图。

每相绕组的引出线的始端 D1、D2、D3 分别从各相绕组的线圈始边 U1、V1、W1 的相带处引出。例如，U 相绕组的引出线 D1 自相带 U1 处的第 1 槽引出，V 相绕组的引出线 D2 自相带 V1 处的第 5 槽引出，W 相绕组的引出线 D3 自相带 W1 处的第 9 槽引出。引出线 D1、D2、D3 之间相互间隔 120°电角。引出线的末端 D4、D5、D6 分别从线圈末边 U2、V2、W2 的相带处引出。

三相绕组可以接成星形，也可以接成三角形。接成星形

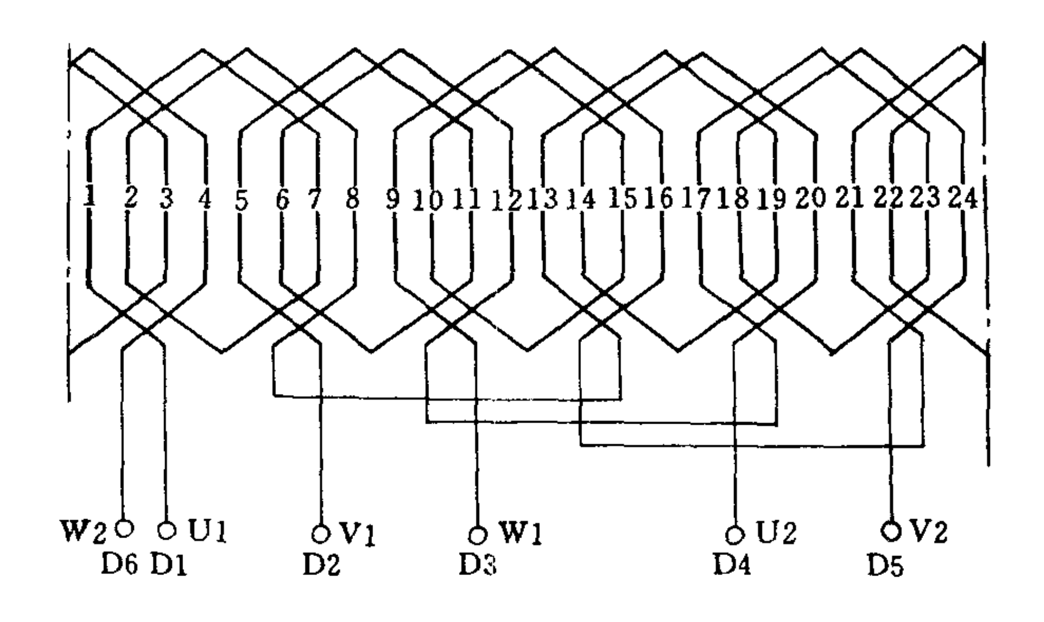


图 2-6　等元件式整距绕组展开图

时，应将各相绕组引出线的末端 D4、D5、D6 接在一起，见图 2-7a；接成三角形时，每相绕组的末端与另一相绕组的始端相接，见图 2-7b。

二、同心式绕组

按照图 2-4b 所示的电流分布情况，我们把导体 1 与导体 8 组成一个节距为 7 的大线圈，将导体 2 与导体 7 组成一个节距为 5 的小线圈，然后顺着导体中的电流方向把这 2 个线圈串联成 1 个线圈组；同样，将导体 13 与导体 20、导体 14 与导体 19 串联成 1 个线圈组，再将这 2 个线圈组顺着电流的方

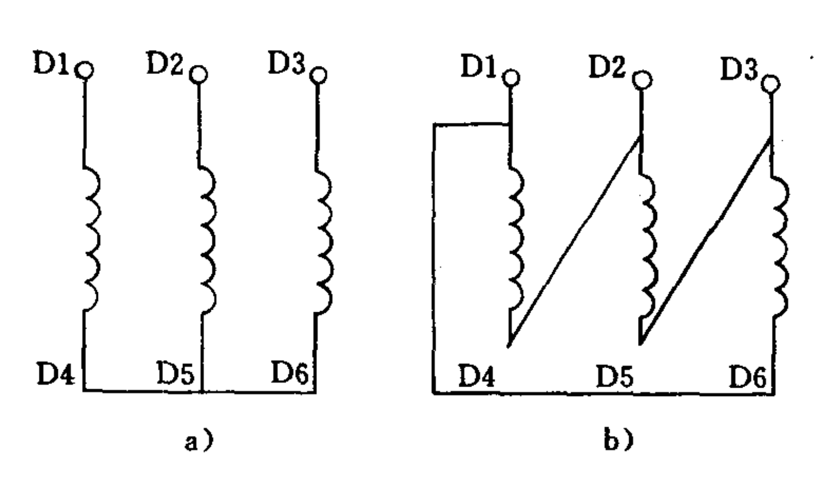


图 2-7　三相绕组的联结

a）星形联结　b）三角形联结

向串联起来，就构成了U相绕组。其端面图及展开图见图2-8a、b。也可将这2个线圈组并联起来，见图2-8c。

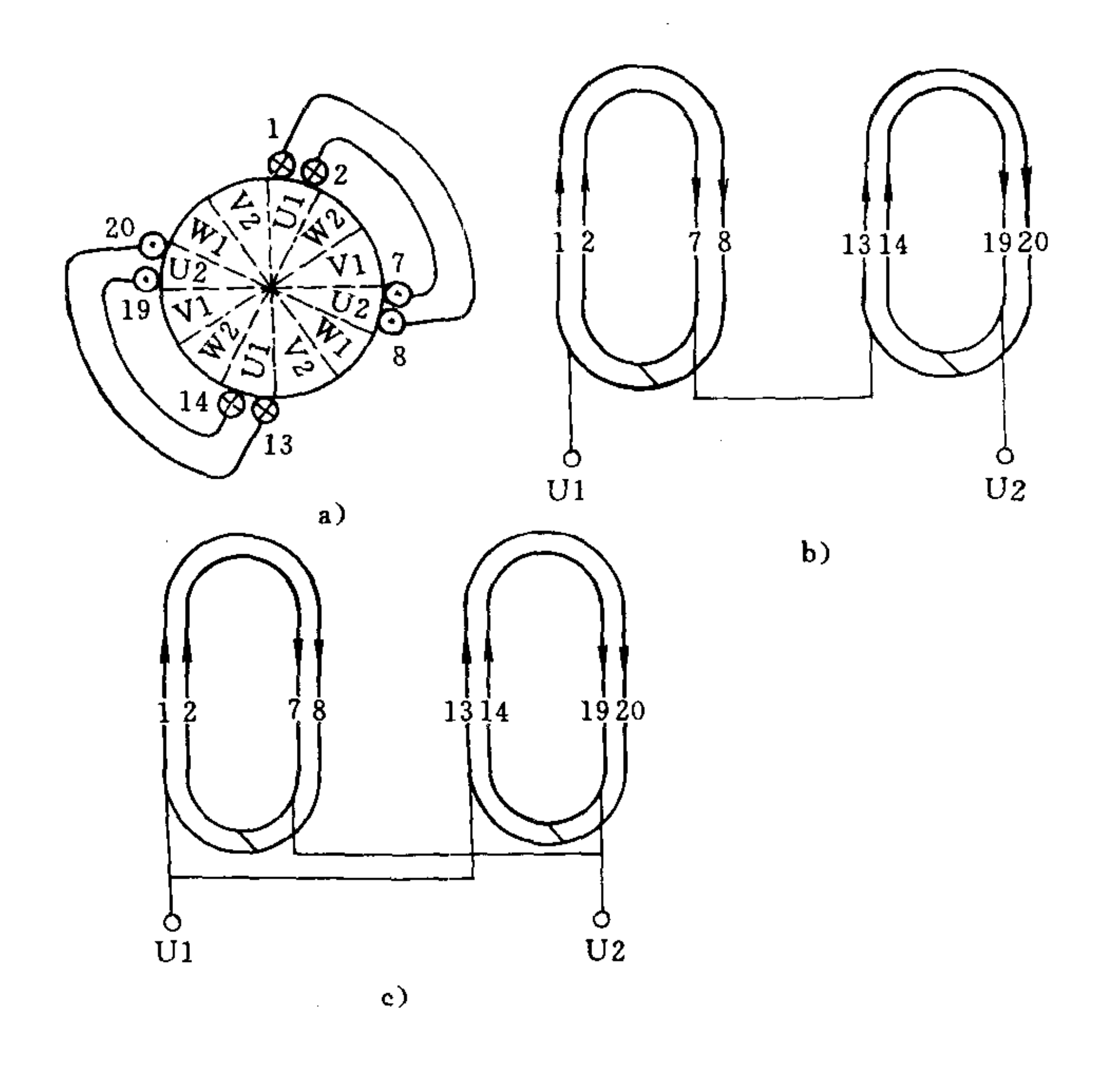


图2-8　同心式绕组

a）端面图　b）一相绕组展开图（串联）　c）一相绕组展开图（并联）

由于同一个线圈组中2个线圈的中心重合，故称为同心式绕组。按照同样的方法，可分别画出V相及W相的同心式绕组展开图。然后把三相绕组的展开图合并，即可得出图2-9所示的三相绕组展开图。

三、链式绕组

在保持三相绕组各导体中电流分布不变的情况下，将图2-4b中属于U相绕组的导体2—7、8—13、14—19和20—1

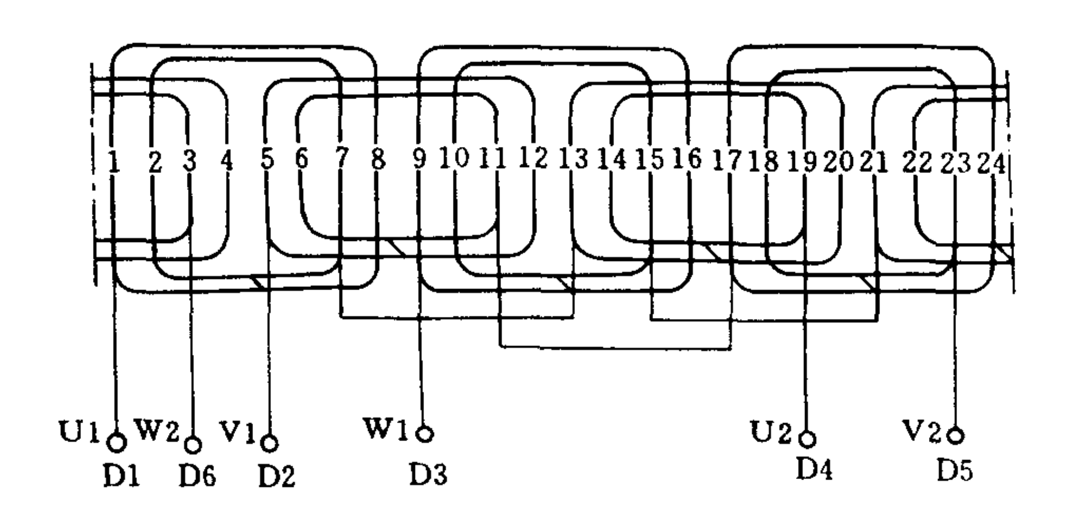


图 2-9 同心式绕组展开图

连成 4 个线圈，其端面图见图 2-10a。把各线圈顺着电流方向联接起来，其一相绕组展开图见图 2-10b。链式绕组的线圈节距 Y =5 槽，它的端部较短。

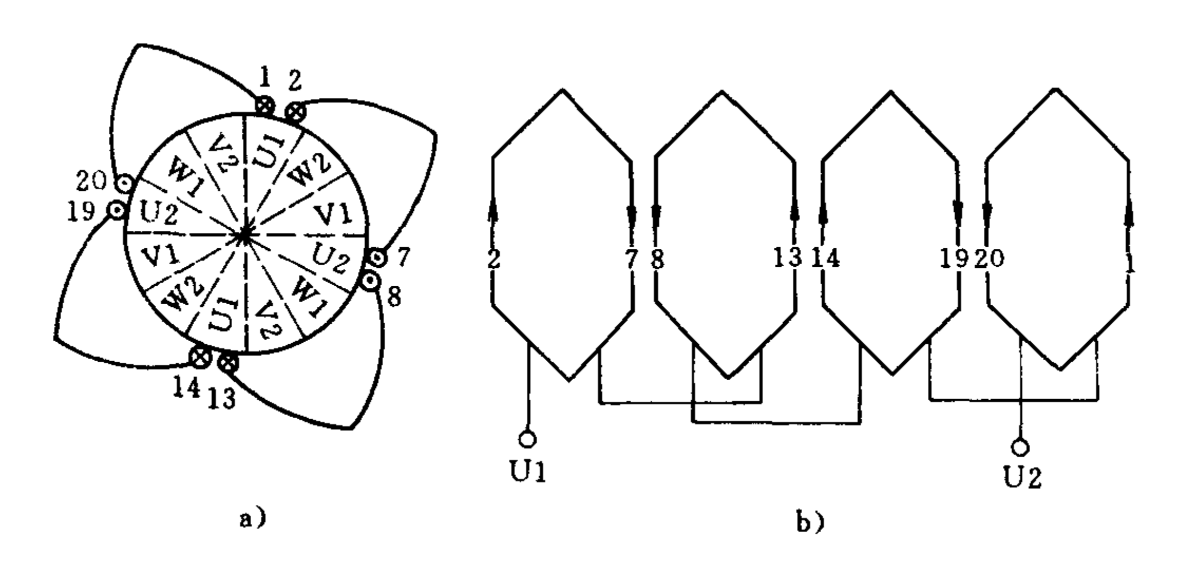


图 2-10 链式绕组
a）端面图 b）一相绕组展开图

单层链式绕组在 4 极时，每一相有 4 个线圈（即每相的线圈数与电动机的磁极数相等），这 4 个线圈可以串联，也可以并联，或相邻 2 个线圈串联起来，然后再进行并联，只要

不改变导体电流在铁心圆周上的分布情况，则所产生的磁场情况也不会改变。

按照同样的方法，我们把属于 V 相及 W 相的各导体分别联接成 V 相及 W 相绕组。其三相链式绕组的展开图见图 2-11。

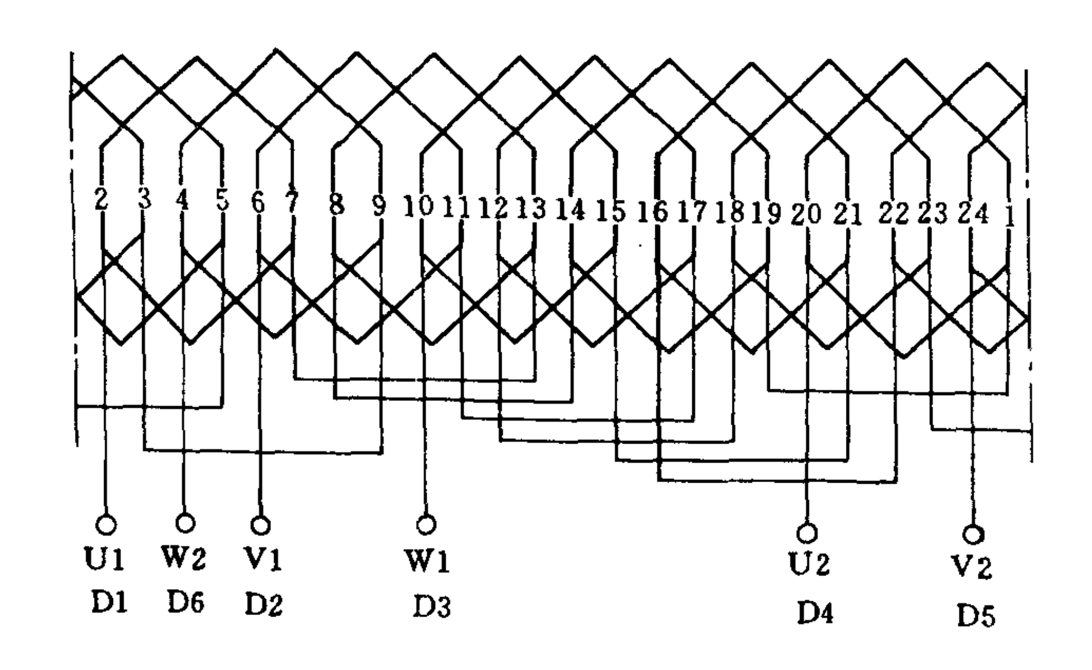


图 2-11　链式绕组展开图

比较上述 3 种绕组，由于电流的分布情况相同，因而产生的磁场也相同。但是链式绕组的端接部分最短，可以节省导线，所以目前链式绕组使用较广泛。

四、交叉链式绕组

图 2-4c 中表示出了 4 极 36 槽绕组中的电流分布，由图可见，U 相占 36、1、2、9、10、11、18、19、20、27、28、29 共 12 槽，在保持 U 相导体电流分布不变的情况下，我们按图 2-12a 联接的次序进行联接。这时，在每对极下有 2 个节距为 8 槽的大线圈和 1 个节距为 7 槽的小线圈。顺着电流方向把各线圈串联起来，便得 U 相绕组的展开图，见图 2-12b。

这样联接的绕组称为交叉链式绕组。

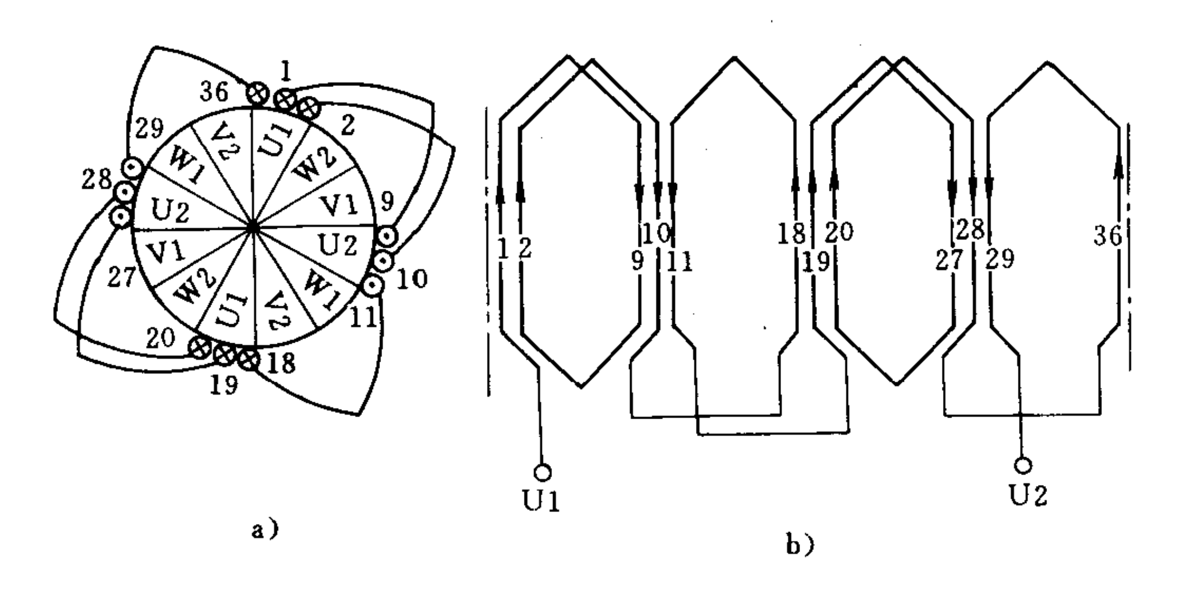


图 2-12　交叉链式绕组
a）端面图　b）一相绕组展开图

图 2-13 为三相交叉链式绕组展开图。由于每相绕组的电流分布情况未变，所以产生的磁场与整距绕组相同，但交叉链式绕组端部较短，可以节省导线。

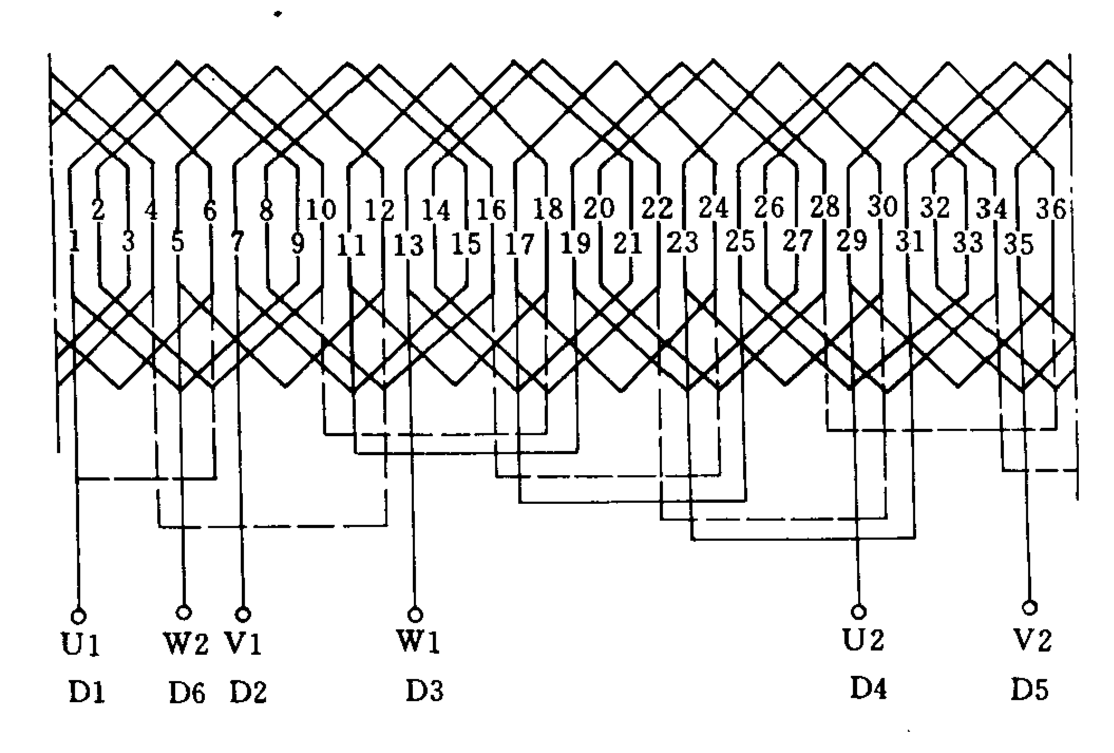


图 2-13　交叉链式绕组展开图

五、交叉同心式绕组

图 2-4a 表示了 2 极 24 槽三相绕组的导体分布。每相绕组在每极下占有 24/（3×2）=4 槽。U 相绕组的端面图及展开图见图 2-14。由图可见，每相绕组有 2 个线圈组，每个线

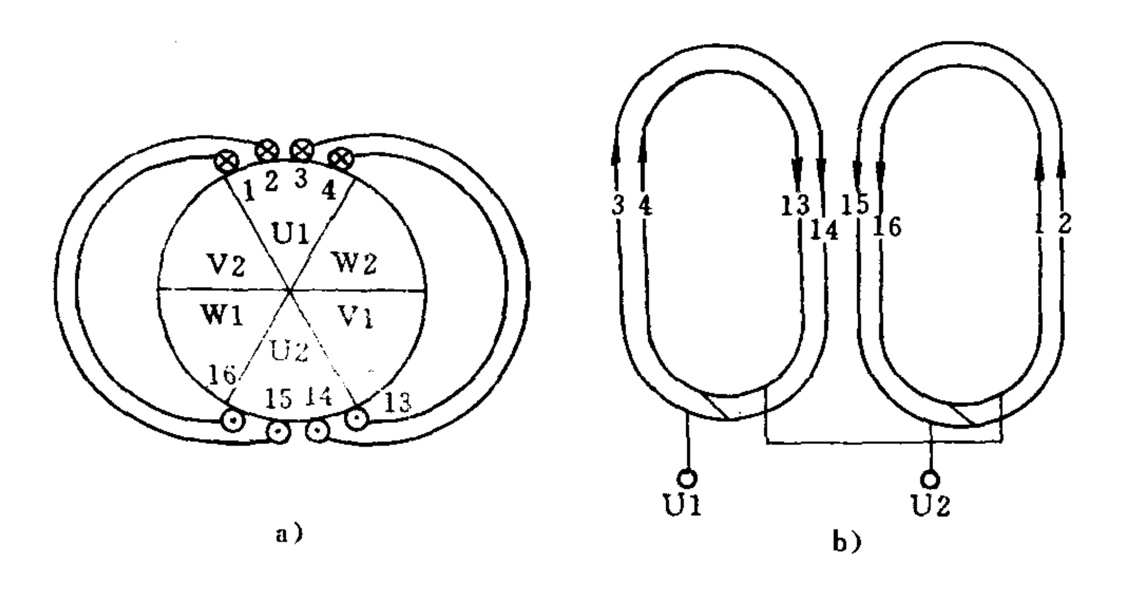


图 2-14 交叉同心式绕组

a）端面图 b）一相绕组展开图

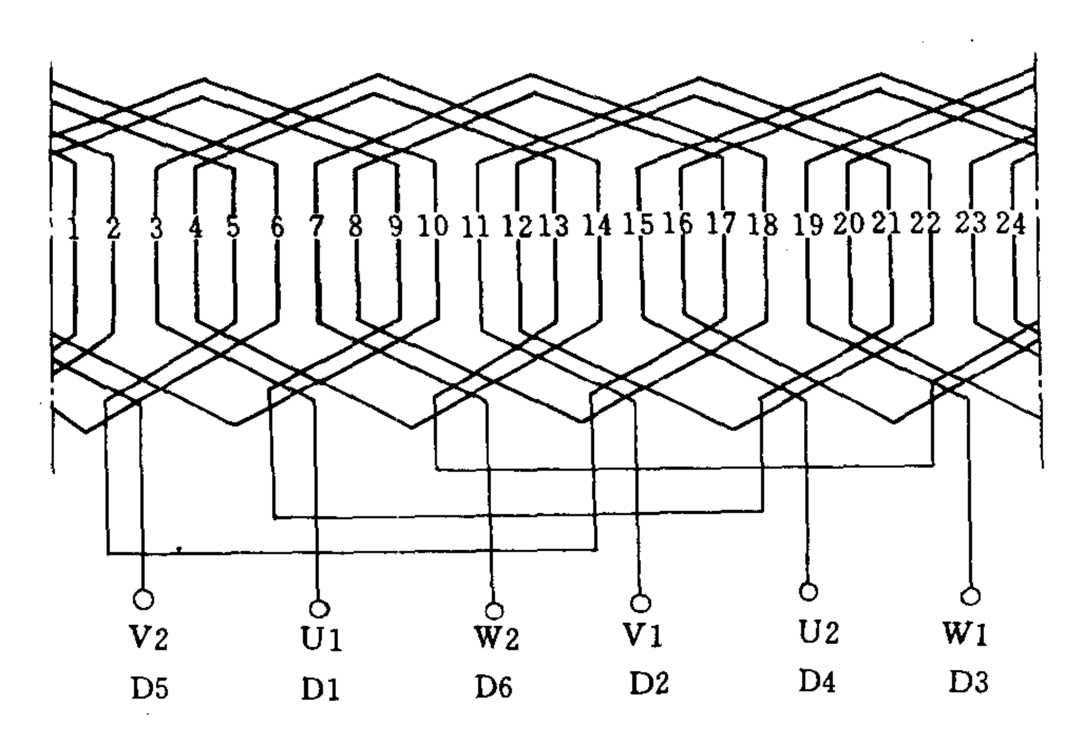


图 2-15 交叉同心式绕组展开图

圈组内大线圈的节距 $Y=11$ 槽，小线圈的节距 $Y=9$ 槽，彼此头尾相连，串联成一个线圈组。每相线圈组数等于极数。单路串联时，应顺着电流方向把 2 个线圈组尾与尾相连，接成所谓交叉同心式绕组，其绕组展开图见图 2-15。

第四节　三相双层绕组

一、三相双层叠绕组

双层绕组是在铁心的每一槽中放置 2 个有效边，即 1 个置于上层，另 1 个置于下层。1 个槽内的上层导体与其相距一定距离（通常称节距）的另一个槽内的下层导体连成 1 个线圈。各线圈的形状相同，绕组的线圈数等于槽数。双层绕组的节距可以根据需要在一定范围内任意选择。如果线圈的节距 Y 等于极距 τ_p，则为整距绕组。如果选取适当的短距（通常 $Y\approx 5\tau_p/6$），这样可以使异步电动机旋转磁场更接近于正弦分布，从而可改善电动机性能。所以，双层绕组通常都是选用短距。由于节距较短，还可以节省导线。

1. 双层整距叠绕组　双层绕组可以看成是由单层绕组演变而来的。例如，在各相绕组相带分布规律和电流分布不变的情况下，我们把图 2-10 单层链式绕组中每相邻的 2 个槽合并为 1 个槽，分上下两层。所有双号数槽的有效边置于槽的下层，而所有单号数槽的有效边置于槽的上层，这样便可以得到一个 $Q_1=12$、$2p=4$ 的三相双层整距叠绕组，见图 2-16。在绕组展开图中，每一槽中画了 1 根实线和 1 根虚线，实线表示上层有效边，虚线表示下层有效边。导体中的电流方向用箭头表示。从图中可以看出，由于相邻的元件都是互相交叠的，所以这种绕组称为叠绕组。

图 2-17 为 24 槽 4 极双层绕组分布情况，各相绕组的相

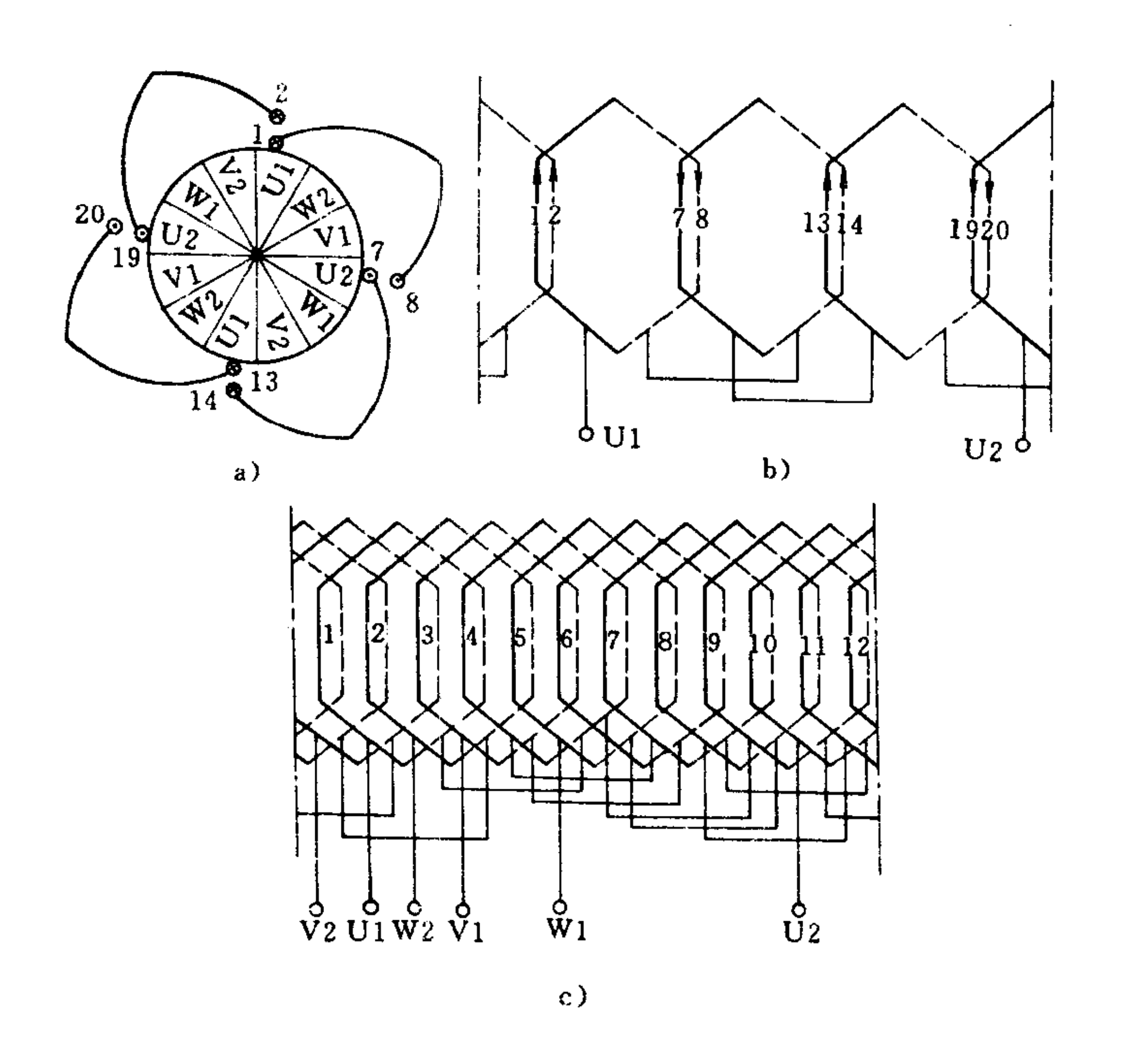


图 2-16 单层链式绕组演变为双层整距绕组

a）端面图 b）一相绕组展开图 c）三相绕组展开图

带分布规律和电流分布都与图 2-4b 相同，所不同的是图 2-4b 是单层绕组，每槽只有 1 个有效边，而图 2-17 是双层绕组，每槽中有上、下两层导体。为了区别起见，下层导体编号带“′”。从图中可以看出，U 相绕组仍由槽 1、2、7、8、13、14、19、20 中的导体组成。将导体 1 与导体 7′、导体 2 与导体 8′……连成线圈，便构成了双层整距（$Y=\tau_p=6$）U 相绕组。其三相双层整距叠绕组展开图见图 2-18。

2. 双层短距叠绕组　如果我们将 24 槽 4 极双层绕组的

线圈节距缩短 1 个槽，即选取 $Y=5$ 槽，这样将导体 1—6′、导体 2—7′……分别连成线圈 1、2……。每个线圈的下层导体都提前 1 个槽。图 2-17 中每相绕组上层导体的位置保持不变，而将下层导体的位置全部逆时针方向转过 1 槽，就可得到双层短距绕组的端面图及电流分布，见图 2-19a。图中，电流方向仍是 i_u 为正，i_v、i_w 为负的情况。从

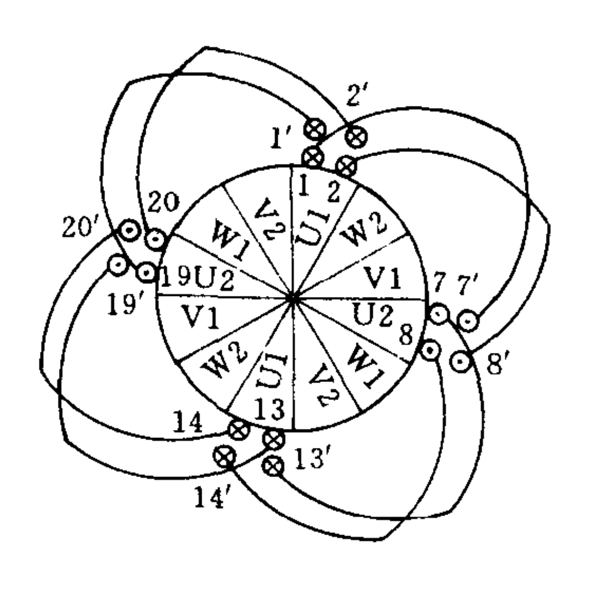


图 2-17　双层整距绕组端面图

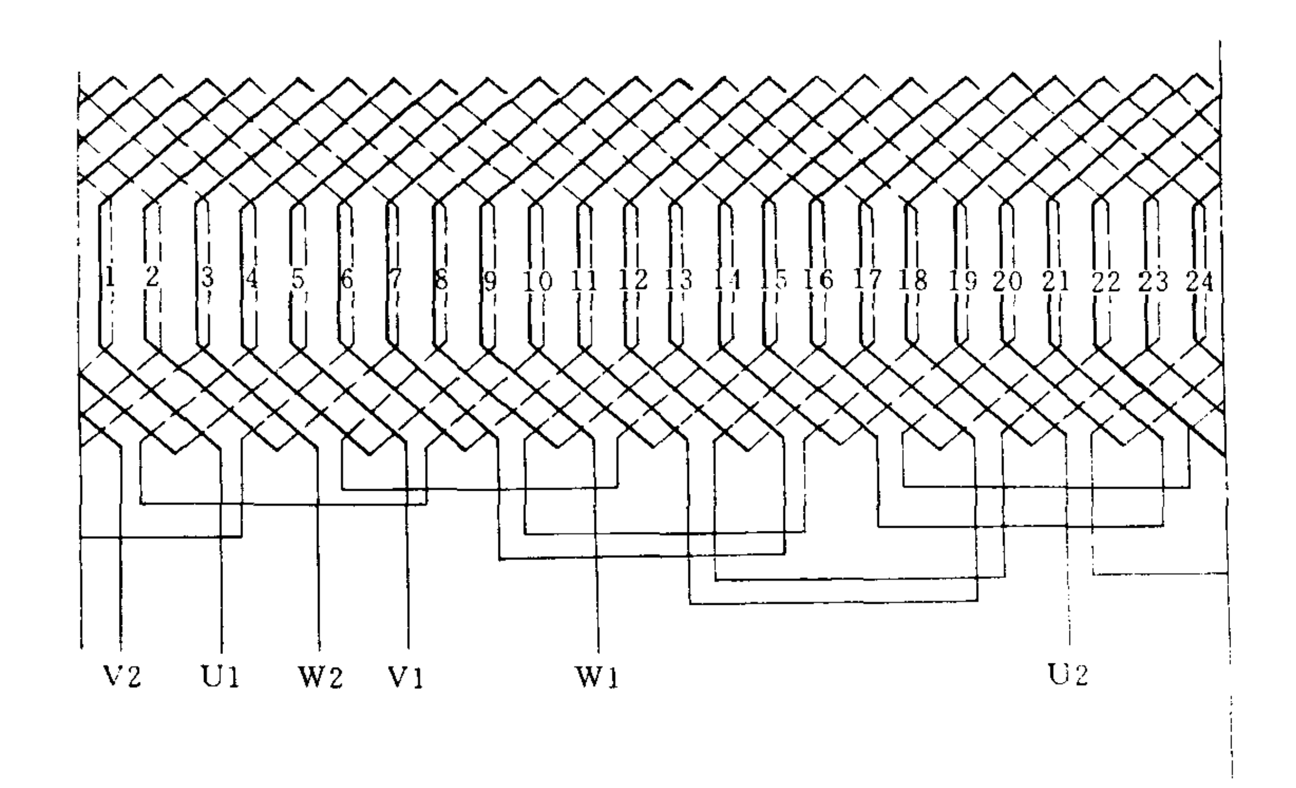


图 2-18　双层整距叠绕组展开图

图中还可以看出，每 1 个极距内，有 1 个槽的上、下层导体电流方向相反，而且不是属于同一相，这是由于我们选用了短距绕组的缘故。一般说来，线圈节距缩短几个槽，就有几

个槽的电流方向相反。但是，总的电流分布仍然产生1个4极磁场。这种现象对产生的磁场有所削弱，但其磁场波形将得到改善。图2-19b为一相绕组展开图。

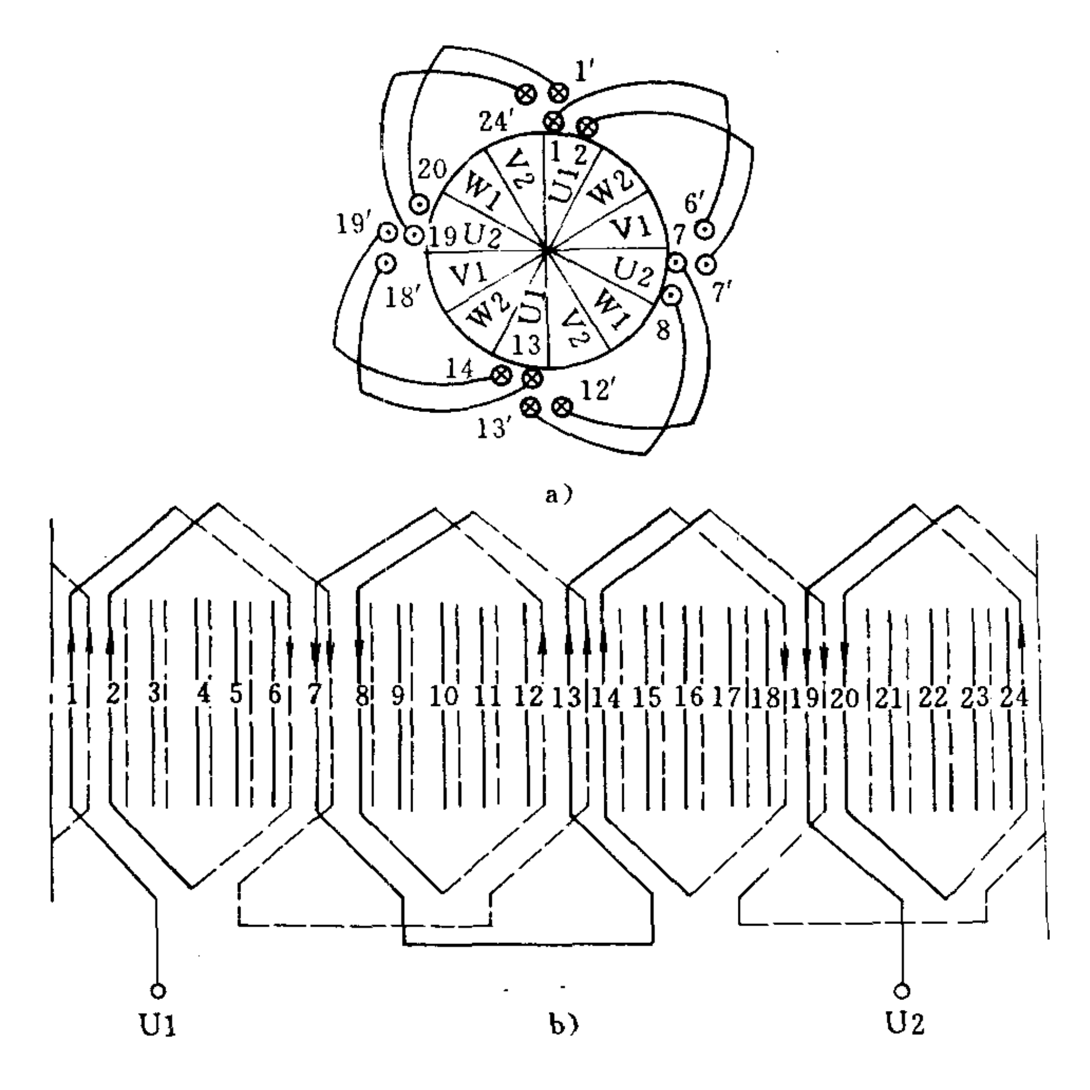


图 2-19　双层短距叠绕组
a）端面图　b）一相绕组展开图

图2-20为三相双层短距叠绕组展开图。从图中可以看出，4极双层叠绕组每相有4个线圈组。显然，每相线圈组数等于极数（$2p$），所以，各相单路串联方法，采用头头相接、尾尾相接的反串联。

双层叠绕组主要用于10kW以上的电动机中。电动机容量越大，额定电流也越大，导线的截面也相应增大，这就给

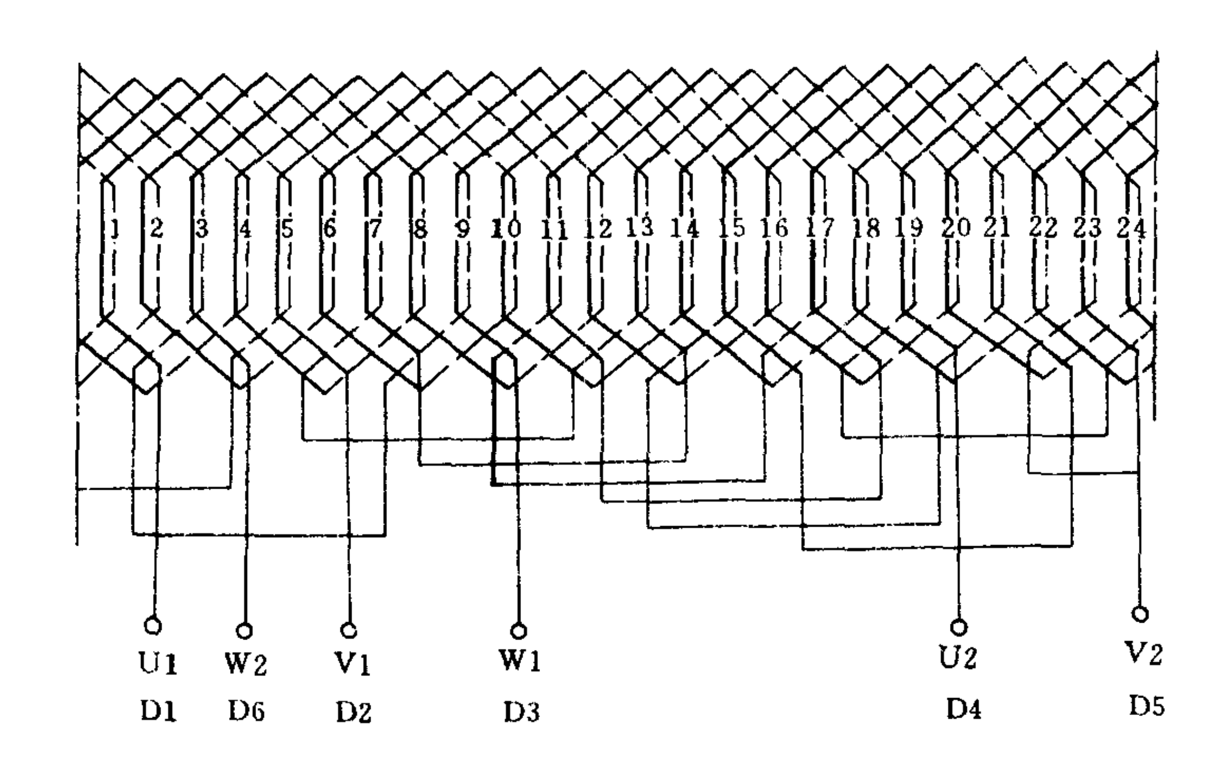


图 2-20　双层短距叠绕组展开图

工艺上带来了困难。因此，双层绕组常采用多路并联，其最大可能并联支路数 a 等于每相的线圈组数，即 $a=2p$。

二、三相双层波绕组

波绕组的特点是：2 个相联接的线圈成波浪形前进，见图 2-21。与叠绕组比较，两者相带划分和槽号分配完全相同。如果两种形式的绕组每槽导体数相等，节距相等，那么通以同一三相交流电时，它们产生的磁场大小及波形都一样，所以波绕组和叠绕组的电磁性能一样，只是它们的端部形状及线圈之间的联接顺序不同而已。

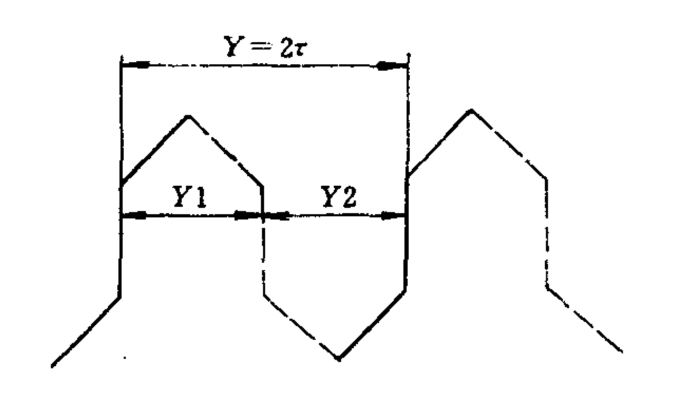


图 2-21　波绕组元件的节距

波绕组的联接规律，是把所有同一极性（例如 N_1、N_2、……）下属于同一相的

线圈，按照一定的次序串联起来，组成一组；再把所有另极性（S_1、S_2、……）下属于同一相的线圈，按一定的次序串联起来，组成另一组。最后把这两大组线圈，根据需要，接成串联或并联，即可构成一相绕组。

在波绕组中，绕组的节距分为第一节距 Y_1 和第二节距 Y_2，见图 2-21。Y 称为合成节距，它正好等于相串联的 2 个线圈的对应边之间的距离。合成节距，是表示绕组联接规律的一个基本数据，它表示每联接 1 个线圈时绕组在空间前进了多少槽距。由于波绕组是依次把 N_1、N_2、……极下的线圈相联接，每次前进近 1 对极的距离，故对整数槽波绕组而言，合成节距通常选为 1 对极距，即 $Y=Q_1/p=2mq$ 槽。这样，在连续地联接 p 个线圈，前进了 p 对极（即沿定子绕行 1 周）后，绕组将回到出发的槽号而形成闭路。为使绕组能够连续地绕行下去，每绕完 1 周，就需要人为的后退或前移 1 个槽。这样连续地绕接 q 周，就可以把所有 N 极下属于 U1 相的线圈（共 pq 个）连成一组（U1-1U1-2 组）。同理，把所有 S 极下属于 U2 相的线圈连成另一组（U 2-1U 2-2组）。最后再用组间连线把 U 1-1、U 1-2和 U 2-1、U 2-2串联或并联起来，即可得到 U 相绕组的首、末端 U1、U2。

现以相数 $m=3$、极数 $2p=4$、定子槽数 $Q_1=36$ 的定子波绕组为例进行说明，其相带划分和各相所占槽号与叠绕组时完全相同。因为合成节距 $Y=\frac{Q_1}{p}=\frac{36}{2}=18$，故线圈按下述次序联接，取线圈的第一节距 $Y_1=8$，所以 U 相若从第 3 号线圈起头，则 3 号线圈的第一条线圈边应嵌在 3 号槽的上层（实线），另一线圈边应嵌在 11（3+8）号槽的下层（虚线）。然后根据合成节距 $Y=18$，3 号线圈应与 21（3+18）号线圈

相连。21 号线圈的第一条线圈边应嵌在 21 号槽的上层，另一条线圈边应嵌在 29 号槽的下层。这样连续地联接 2 个线圈以后，恰好在定子内圆绕行 1 周。为避免再回到 3 号槽，我们可以人为的后退 1 个槽。再从 2 号线圈出发，继续绕行下去。

不难看出，线圈联接时，节距 Y_1 只影响本线圈的跨距（即同一线圈上、下层边之间的距离），而不影响线圈之间的联接规律。线圈之间的连接次序完全取决于合成节距 Y。故根据 $Y=18$，可列出 U 相线圈的联接次序如下：

N_1、N_2 极下

U 1-1—3—21—2—20—1—19—U 1-2

S_1、S_2 极下

→U 2-2—10—28—11—29—12—30—U 2-1

其中，数字代表线圈的号数，亦即该线圈上层边所嵌的槽号。根据上述次序画出对应的双层波绕组 U 相展开图，见图

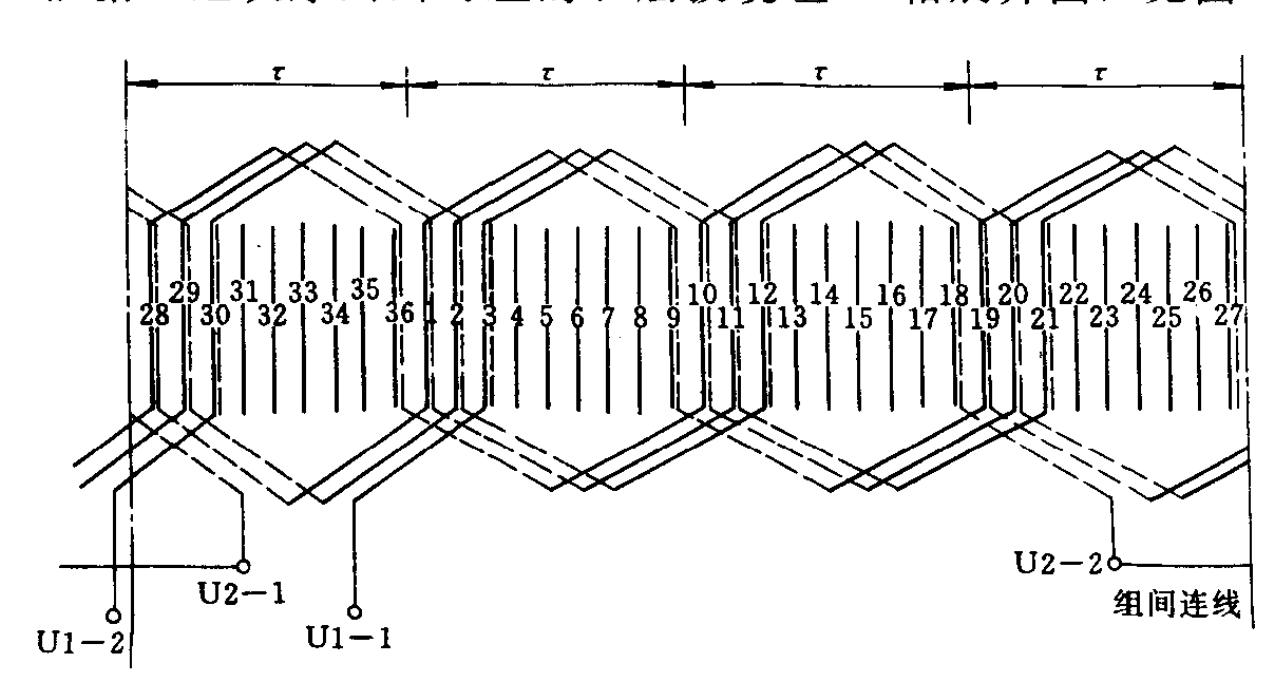


图 2-22　三相双层波绕组 U 相展开图

($Q_1=36$，$2p=4$)

2-22。

由以上分析可知，在整数槽波绕组中，无论多少极数，每相绕组只有两大组，仅需一根组间连线，并联支路最多只有2条。

整数槽波绕组在绕线式异步电动机的转子中获得广泛的应用。异步电动机的转子通常不和电网相连，其电压不受标准电压等级的限制，因此，常用制造简单的、槽内面积利用情况较好的、由铜条弯成的条形波绕组。波绕组的组间连线少，绑扎固定比较简单，同时可使转子易于平衡。

第五节 单双层混合绕组

单双层混合绕组，就是在定子某些槽内嵌以单层绕组，而在另一些槽内则嵌以双层绕组。单层绕组的优点是：嵌线方便，没有层间绝缘，槽的利用率高。但单层绕组一般都是全距绕组，其磁场波形较差，因而对电动机的启动性能、损耗和噪声等都有一定的影响。双层绕组的优点是：可以采用适合的短距来改善磁场波形，从而使电动机的性能有所改善。而单双层混合绕组，兼有上述两者的优点，既能改善磁场波形，改善电动机性能，同时在工艺上嵌线也较双层绕组方便，且端部较短，节省导线。尤其是对于2极电动机，单双层混合绕组可以比双层绕组采用更合适的绕组节距，从而可提高绕组系数。

单双层混合绕组是在双层短距绕组的基础上演变过来的。我们知道，双层绕组由于采用短距，使某些槽内上层导体及下层导体不属于同一相，但仍有一些槽内上层和下层导体边属于同一相。这样，我们就可以把属于同一相绕组的上层和下层导体归结在一起，用单层绕组来代替，不属于同一

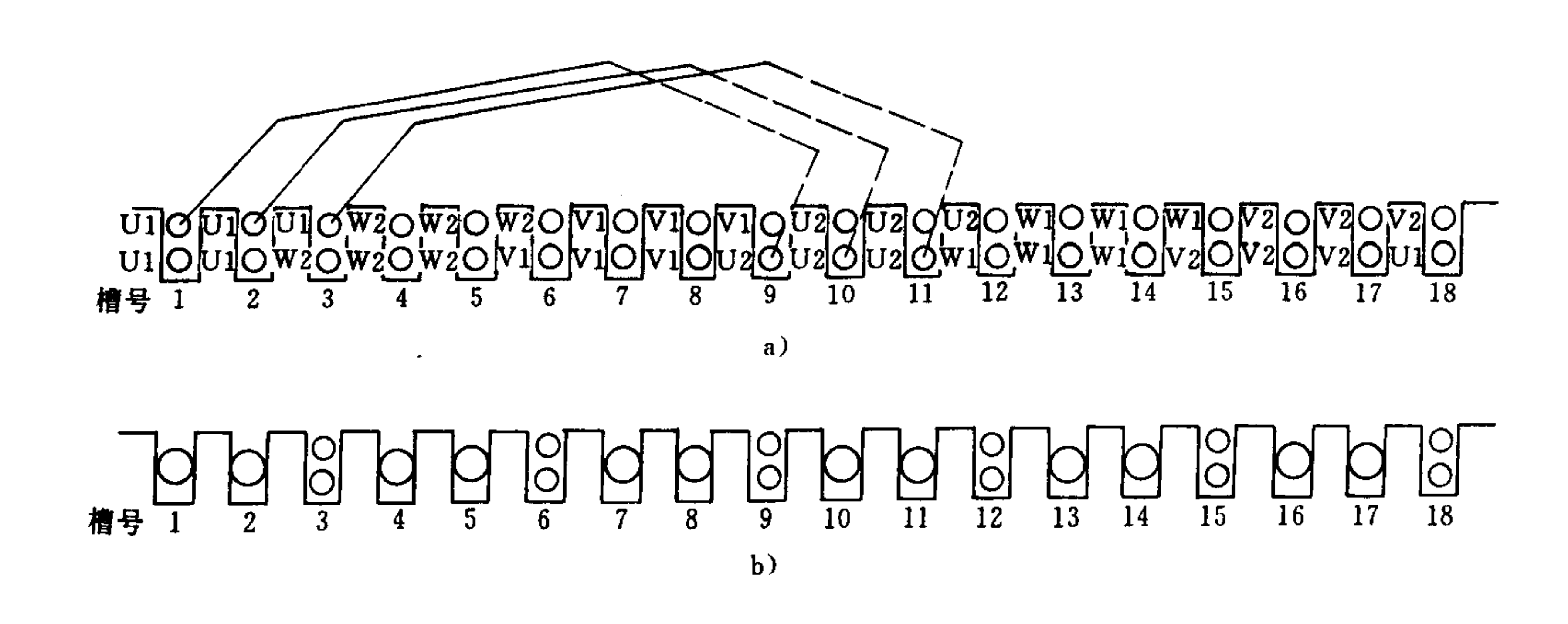


图 2-23 单双层绕组原理图

a) $q=3$、$2p=2$、$\tau_p=9$、$Y_1=\frac{8}{9}\tau_p$ 双层绕组 b) 演变成的单双层绕组

相的上、下层导体，仍保留其原来的双层。这就是单双层混合绕组。

现以 $Q_1=18$、$2p=2$、$m=3$ 的双层绕组为例，说明单双层混合绕组的构成。

极距 $\tau_p=\frac{Q_1}{2p}=\frac{18}{2}=9$ 槽

每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{18}{2\times3}=3$

取节距 $Y_1=\frac{8}{9}\tau_p=\frac{8}{9}\times9=8$

根据上述数据排列绕组，见图 2-23。

图 2-23a 为双层绕组的示意图，上层边按相带顺序 U1、

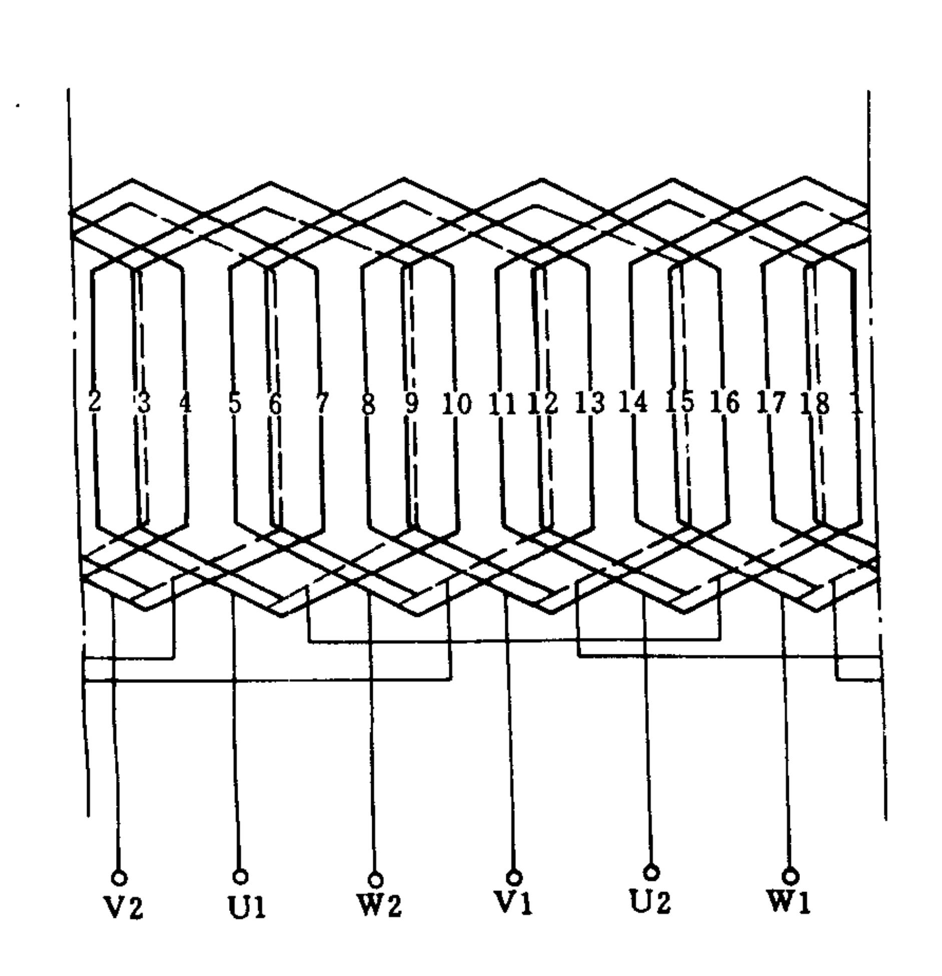


图 2-24 单双层绕组展开图

($Q_1=18$、$2p=2$、$m=3$)

W2、V1、U2、W1、V2 进行排列，下层边则由节距 $Y_1=8\tau_p/9$ 来确定。如槽 1、2、3，上层边为相带 U 的导体，则构成此线圈的下层边应在槽 9、10、11 的下层。由图可见，槽 1、2；4、5；7、8；10、11；13、14；16、17 的上层及下层导体同属一相。因此，可以合在一起成单层。不属同一相的，如槽 3、6、9、12、15、18 仍保留双层。这样，单层占有 12 个槽，相应有 6 个线圈；双层只占有 6 个槽，也相应有 6 个线圈，不论槽内是放单层或双层，每槽总导体数都应基本相等。图 2-24 是它的展开图。通过上述简单的讨论，可见，单双层混合绕组实质上相当于一双层绕组。图 2-24 所示的单双层混合绕组，相当于一个 $q=3$、$2p=2$、$Y_1=8\tau_p/9$ 的双层绕组。

第六节　分数槽绕组

以上介绍的绕组，每极每相的槽数 q 均为整数。例如，36 槽 4 极电动机，每极每相槽数 $q=\frac{36}{4\times3}=3$。又如 24 槽 2 极电动机，每极每相槽数 $q=\frac{24}{2\times3}=4$，每极每相槽数 q 为一整数的绕组，称为整数槽绕组。由于双层绕组的线圈数等于槽数，在整数槽绕组里，每一极相组含有的线圈数也必定是整数。如果每个极面下每相占有的槽数为分数时，称为分数槽绕组。例如，定子槽数为 54 槽，8 极电动机，则每极每相槽数 $q=\frac{54}{8\times3}=2\frac{1}{4}$。也就是说，每一极相组含有 $2\frac{1}{4}$ 个线圈。这样，必然是某些极相组多含一些线圈，某些极相组少含一些线圈，故又称不均分组。显然，不均分组线圈分配不能用以往讨论的方法。这种绕组应如何分配，我们先以实际例子说明，然后再分析它的分配规律。

例 1 试确定 $Q_1=27$ 槽、6 极电动机绕组的分配。

解 每极每相槽数 q（极相组线圈数）$=\frac{27}{3\times6}=1\frac{1}{2}$。对于三相电动机，不论是否为分数槽绕组，三相绕组必须含有相同的线圈数，以保持磁性平衡和三相电流平衡。现有每相 $27/3=9$个线圈，每个极相组含 $9/6=1\frac{1}{2}$个线圈，这是无法绕制的，只能分配成 3 个极相组为 2 个线圈，另外 3 个极相组为 1 个线圈，这样的三相线圈分配见表 2-1。

表 2-1

N	S	N	S	N	S
U V W	U V W	U V W	U V W	U V W	U V W
2 1 2	1 2 1	2 1 2	1 2 1	2 1 2	1 2 1

其绕组展开图（U 相）见图 2-25。

分配时应注意，不论是线圈多的极相组还是线圈少的极相组，都应布置在对称位置，只有这样磁性拉力才能平衡，也才能把电动机的磁性振动减小到最低限度。

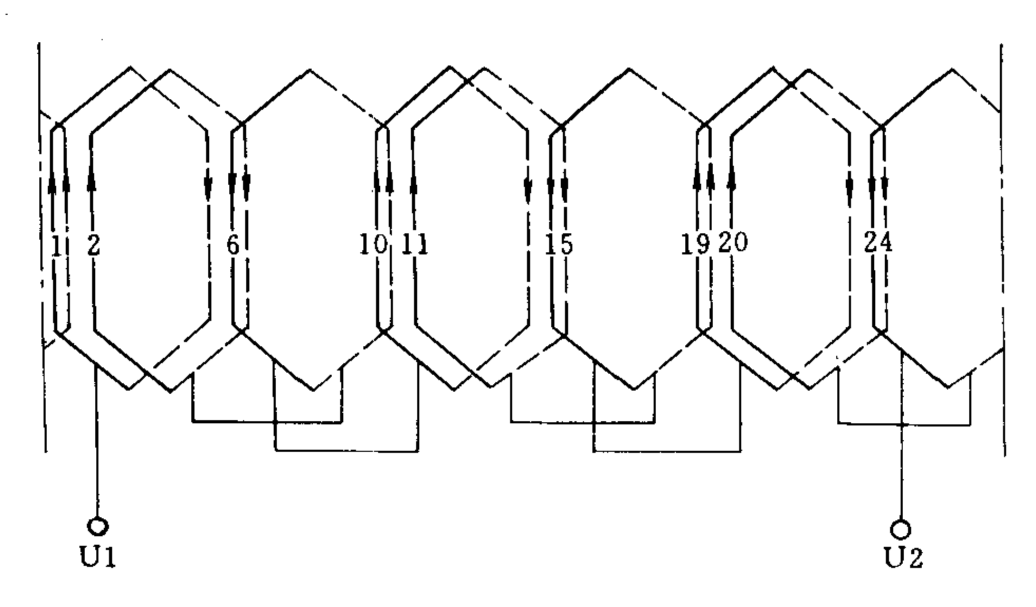


图 2-25 分数槽绕组展开图

例 2 试确定 $Q_1=27$ 槽、4 极电动机的绕组分配。

解 每一极相组线圈数 $q=\frac{27}{3\times4}=2\frac{1}{4}$，每相线圈数为 $\frac{27}{3}=9$ 个。

可以确定，每一极相组线圈应为 2 个或 3 个。根据每相线圈数为 9 个，又有 4 个极相组可以判断每相绕组有 3 个极相组为 2 个线圈，1 个极相组为 3 个线圈。可按表 2-2 排列极相组。

表 2-2

N	S	N	S
U V W	U V W	U V W	U V W
2 2 2	2 2 2	2 2 2	3 3 3

尽管三相绕组线圈数相等，但不对称，故破坏了磁场平衡。为了使磁场平衡，应把第 4 个极下 3、3、3 的 3 个极相组拆开，把含有 3 个线圈的极相组，排列在对称位置。为了达到这一目的，只需按 2、2、2、3 的顺序循环排列即可，见表 2-3。

表 2-3

N	S	N	S
U V W	U V W	U V W	U V W
2 2 2	3 2 2	2 3 2	2 2 3

从上述两例中，我们可以分析得出分数槽绕组的分布规律如下：

1）设每极每相槽数（每一极相组线圈数）等于 $B^c/_d$，则各极相组必由 B 个或 B+1 个线圈组成，并按一定次序循环

排列，每经 d 个极相组循环一次。

2）每次循环的 d 个极相组中，有 c 个极相组含有（B+1）个线圈，（d−c）个极相组含有 B 个线圈。

3）循环次数$=\frac{\text{总极相组数}}{d}$。

一般情况下的分数 c/d 值为 1/2、1/4、3/4、1/5、1/7 等，其绕组排列可参看表 2-4。

表 2-4

$\frac{c}{d}$值	极 相 组 的 循 环 （排 列）
$B\frac{1}{2}$	B、(B+1)；B、(B+1)；B、(B+1) 等
$B\frac{1}{4}$	B、B、B、(B+1)；B、B、B、(B+1)；或 B、B、(B+1)、B；B、B、(B+1)、B；或 B、(B+1)、B、B；B、(B+1)、B、B 等
$B\frac{3}{4}$	B、(B+1)、(B+1)、(B+1)；B、(B+1)、(B+1)、(B+1) 等
$B\frac{1}{5}$	B、B、B、B、(B+1)；B、B、B、B、(B+1) 或 B、B、(B+1)、B、B；B、B、(B+1)、B、B 等
$B\frac{2}{5}$	(B+1)、(B+1)、B、B、B；(B+1)、(B+1)、B、B、B 或 (B+1)、B、(B+1)、B、B；(B+1)、B、(B+1)、B、B 等
$B\frac{3}{5}$	B、B、(B+1)、(B+1)、(B+1)；B、B、(B+1)、(B+1)、(B+1)或 B、(B+1)、B、(B+1)、(B+1)；B、(B+1)、B、(B+1)、(B+1) 等
$B\frac{4}{5}$	B、(B+1)、(B+1)、(B+1)、(B+1)；B、(B+1)、(B+1)、(B+1)、(B+1) 等
$B\frac{1}{7}$	B、B、B、B、B、B、(B+1)；B、B、B、B、B、B、(B+1) 等
$B\frac{2}{7}$	(B+1)、B、B、(B+1)、B、B、B 等
$B\frac{3}{7}$	(B+1)、B、(B+1)、B、(B+1)、B、B 等

例 3 求 54 槽、8 极电动机和双层叠绕组的分配。

解 1）求每极每相槽数 q

$$q = \frac{54}{8 \times 3} = 2\frac{1}{4}$$

即 B=2，c=1，d=4。

各极相组分别由 2 个和 3（2+1）个线圈组成，每 4 个极相组循环一次。

2）每次循环中有 3 个极相组含 2 个线圈，1 个极相组含 3 个线圈。

3）绘出 24 个极相组，查表 2-4 中 $q=B\frac{1}{4}$栏，就可排列出线圈分配规律，见表 2-5。

表 2-5

N			S			N			S			N			S			N			S		
U	V	W	U	V	W	U	V	W	U	V	W	U	V	W	U	V	W	U	V	W	U	V	W
2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3

以上分析的是对称分数槽绕组安排规律。在改极重绕过程中，经常碰到不对称分数槽绕组，可以采用空槽和分配法处理，尽量做到近似对称，以减小磁场不平衡。

三相绕组的排列将使电动机磁势波形中出现较强的高次谐波。而高次谐波将严重地影响到电动机的运行性能。现以每对极下有 12 个槽为例，画出三相绕组的排列及槽电流沿圆周的分布。为了便于分析，我们将定子铁心沿轴向剖开展平，见图 2-26。图中，三相对称绕组通入三相对称正弦电流。

从图中可以看出，三相绕组的槽电流沿圆周的分布与理想的正弦曲线有较大的偏离，故其磁势波形中会有较强的高次谐波。

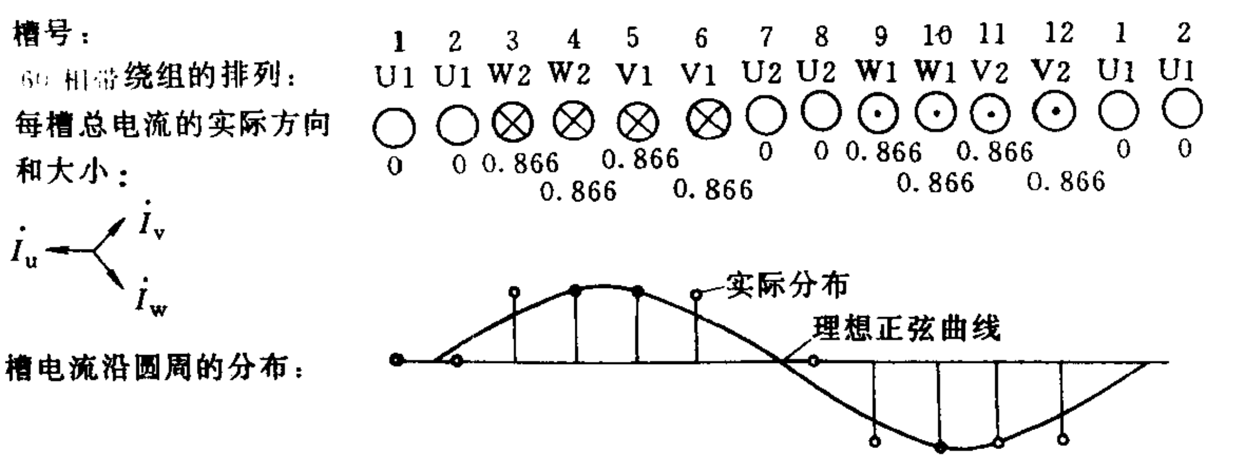


图 2-26　每对极 12 槽的三相单层绕组的排列及槽电流沿圆周的分布

第三章　正 弦 绕 组

三相绕组磁势中所包含的高次谐波的强弱直接影响着电动机的性能。采用正弦绕组可以加强基波磁势，削弱 5 次、7 次等一系列谐波磁势。由于磁势曲线中一系列高次谐波被消除（或显著地削弱），因而电动机的出力可提高（或使温升下降），同时振动和噪声也可减小，从而改善了电动机的性能，降低了电能的消耗，这对节能具有重要意义。

第一节　正弦绕组的构成

正弦绕组是在普通的三相绕组的基础上发展而来的，因而正弦绕组的构成也是建立在普通的三相绕组的基础之上的。

从图 2-4a 所示的两极 24 槽三相绕组的分布情况可以看出，U 相绕组的相带 U1 区包含导体 1、2、3、4，相带 U2 区包含导体 13、14、15、16。在保持导体中电流方向不变的情况下，我们将相带 U1 分成相等的两部分，以 $U1_{\triangle}$ 及 $U1_{Y}$ 表示（见图 3-1）。这样，相带 $U1_{\triangle}$ 区包含导体 1、2，相带 $U1_{Y}$ 区包含导体 3、4。同样，将相带 U2 亦分成相等的两部分，以 $U2_{\triangle}$ 及 $U2_{Y}$ 表示。相带 $U2_{\triangle}$ 区包含导体 13、14，相带 $U2_{Y}$ 区包含导体 15、

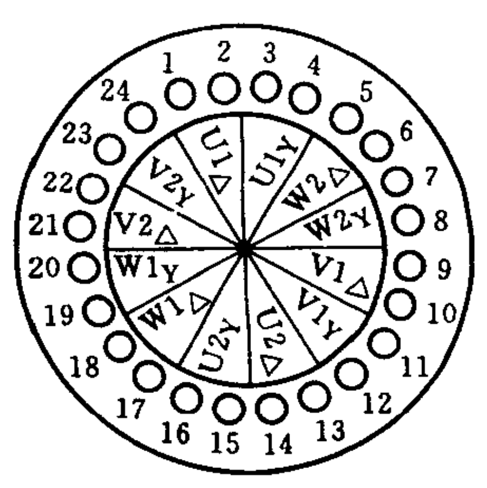


图 3-1　两极 24 槽正弦绕组分布情况

16。由于相带 $U1_{\triangle}$ 中的电流方向与相带 $U2_{\triangle}$ 中的相反，所以相带 $U1_{\triangle}$ 中的任何一根导体都可以与相带 $U2_{\triangle}$ 中的任何一根导体连成 1 个线圈。同样，相带 $U1_{Y}$ 中的电流方向也与相带 $U2_{Y}$ 中的相反，因此，相带 $U1_{Y}$ 中的任何一根导体也可以与相带 $U2_{Y}$ 中的任何一根导体连成一个线圈。按照同样的规律，我们可以将 V 相绕组的相带 V1 区分成 $V1_{\triangle}$ 及 $V1_{Y}$（其中 $V1_{\triangle}$ 区包含导体 9、10，$V1_{Y}$ 区包含导体 11、12）；将相带 V2 区分成 $V2_{\triangle}$ 及 $V2_{Y}$（其中 $V2_{\triangle}$ 区包含导体 21、22，$V2_{Y}$ 区包含导体 23、24）；将 W 相绕组的相带 W1 区分成 $W1_{\triangle}$ 及 $W1_{Y}$（其中 $W1_{\triangle}$ 区包含导体 17、18，$W1_{Y}$ 区包含导体 19、20）；将相带 W2 区分成 $W2_{\triangle}$ 及 $W2_{Y}$（其中 $W2_{\triangle}$ 区包含导体 5、6，$W2_{Y}$ 区包含导体 7、8）。相带 $V1_{\triangle}$、$V1_{Y}$、$W1_{\triangle}$、$W1_{Y}$ 中的任何一根导体可分别与相带 $V2_{\triangle}$、$V2_{Y}$、$W2_{\triangle}$、$W2_{Y}$ 中的任何一根导体联结成 1 个线圈。这样便将普通的三相绕组改成了正弦绕组，其分布情况见图 3-1。

为简单起见，我们以两极 12 槽为例来分析正弦绕组。图 3-2a 为三相绕组分布情况。我们将三相绕组的每一相带分为相等的两个部分，其中一部分称为三角形（△）部分，另一部分称为星形（Y）部分，亦即将每相绕组在每极下占据的槽数 q 分成相等的两部分，即

$$q_{\triangle}=q_{Y}=\frac{q}{2}=\frac{Z_1}{2\times 6p}=\frac{12}{2\times 6\times 1}=1$$

式中　$q_{\triangle}$——三角形部分每极每相槽数；

　　　q_{Y}——星形部分每极每相槽数。

这样可使 1 个磁极下的 3 个相带变成了 6 个相带，因而每个相带占 1/6 极距，对应为 30°电角，故按这种规律安排的绕组称为 30°相带绕组，见图 3-2b。

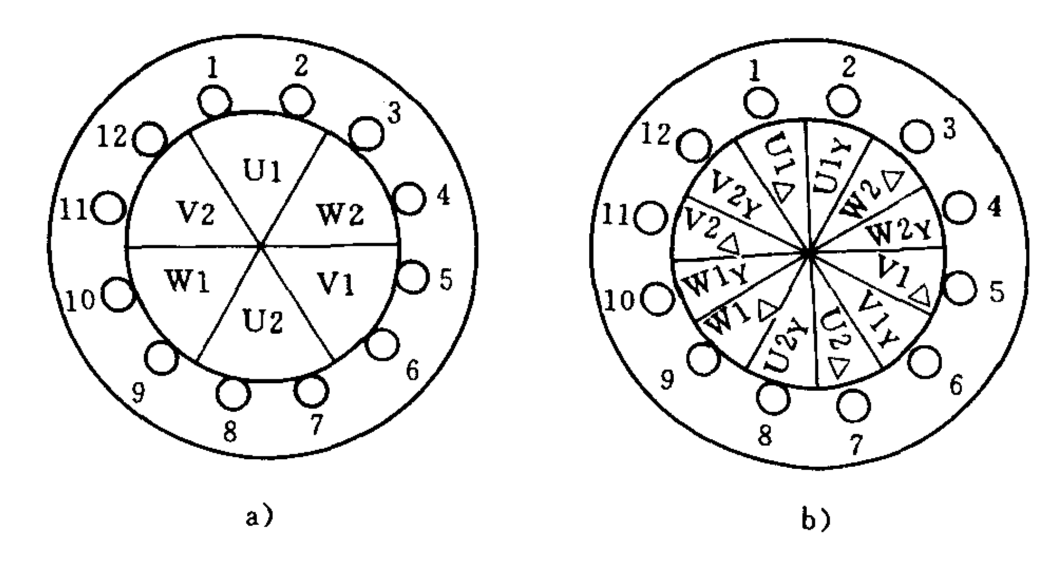


图 3-2　2 极 12 槽绕组的分布情况

a）三相绕组　b）正弦绕组

三角形部分各相绕组在空间相互间隔 120°电角；星形部分各相绕组在空间亦相互间隔 120°电角。而三角形部分与星形部分绕组在空间交替放置，为此，每对磁极下每个相带依次标以 $U1_{\triangle}$、$U1_{Y}$、$W2_{\triangle}$、$W2_{Y}$、$V1_{\triangle}$、$V1_{Y}$、$U2_{\triangle}$、$U2_{Y}$、$W1_{\triangle}$、$W1_{Y}$、$V2_{\triangle}$、$V2_{Y}$。这样，三角形部分各相绕组线圈的始边 $U1_{\triangle}$、$V1_{\triangle}$、$W1_{\triangle}$间都刚好相互间隔 120°电角；星形部分各相绕组线圈的始边 $U1_{Y}$、$V1_{Y}$、$W1_{Y}$间也都刚好相互间隔 120°电角。而三角形部分与星形部分线圈组之间彼此互差 30°电角。

为了说明正弦绕组的排列和相电动势之间的相位关系，我们引入槽电动势星形图和相电动势星形图，见图 3-3。在图 3-3a 中，我们以相量表示每槽中导体的感应电动势。编号 1、2……表示槽号。从图中可以看出，1 号槽属于相带 $U1_{\triangle}$，1 号槽中导体感应电动势相量 $\dot{E}_1$ 为水平方向且指向左方；而 2 号槽属于相带 $U1_{Y}$，2 号槽中导体感应电动势相量 $\dot{E}_2$ 滞后 $\dot{E}_1$30°电角度。依次类推。$U1_{\triangle}$与 $U2_{\triangle}$同属 U 相三角形部分，将导体 1 与 7 连成 1 个线圈，其线圈电动势即 U 相三角形部

分电动势 $\dot{E}_{u\triangle}=\dot{E}_1+(-\dot{E}_7)$；同样，U1$_Y$与U2$_Y$同属U相星形部分，将导体2与8连成1个线圈，U相星形部分电动势 $\dot{E}_{uY}=\dot{E}_2+(-\dot{E}_8)$。余此类推。相电动势星形见图3-3b。

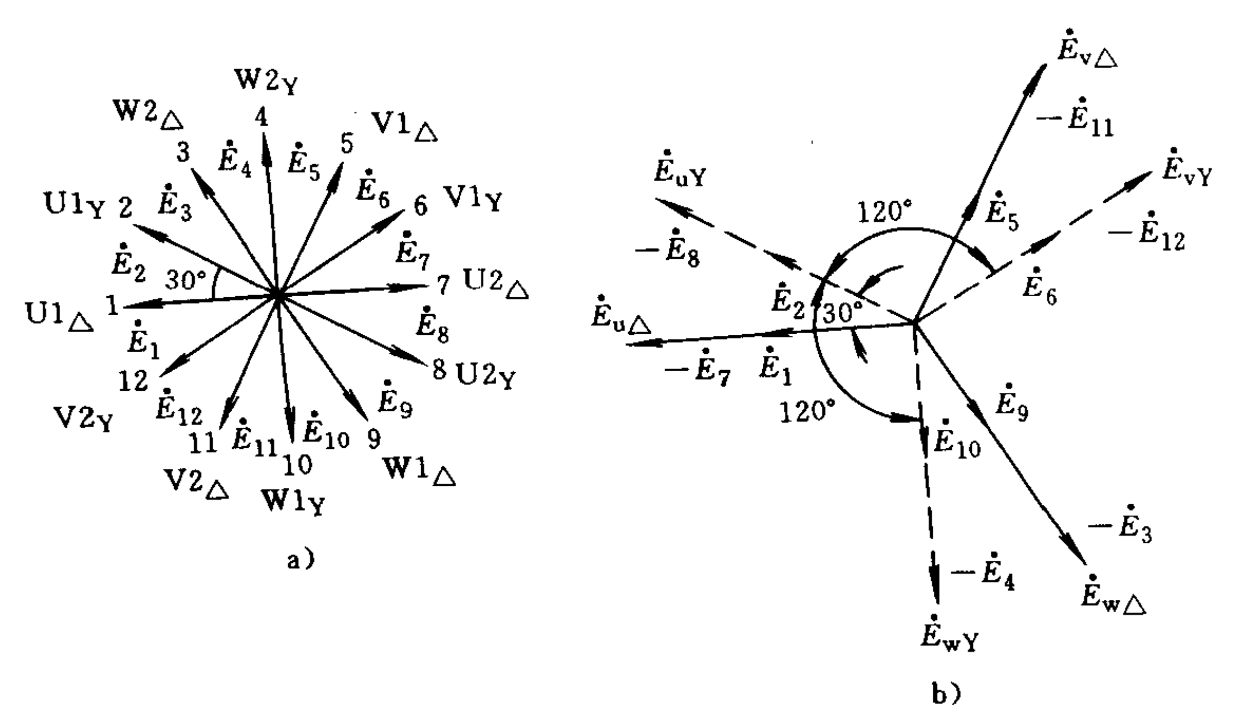


图3-3　正弦绕组排列和电动势星形

a）正弦绕组排列和槽电动势星形　b）相电动势星形

由图3-3b可见，三相三角形部分相电动势 $\dot{E}_{u\triangle}$、$\dot{E}_{v\triangle}$、$\dot{E}_{w\triangle}$ 大小相等、相位互差120°电角，因而，三相三角形部分线圈可以组成一对称的三相绕组。同样，三相星形部分相电动势 $\dot{E}_{uY}$、$\dot{E}_{vY}$、$\dot{E}_{wY}$ 也大小相等、相位互差120°电角，因而三相星形部分线圈也可以组成另一对称的三相绕组。对于定子绕组来说，这两套三相绕组同时存在，而且还按一定的规律联接起来，因此，这种绕组也称为六相绕组。

从图中还可以看出，星形部分相绕组中的感应电动势滞后于三角形部分相绕组中的感应电动势30°电角，如：$\dot{E}_{uY}$ 滞后于 $\dot{E}_{u\triangle}$ 30°电角；$\dot{E}_{vY}$ 滞后于 $\dot{E}_{v\triangle}$ 30°电角；$\dot{E}_{wY}$ 滞后于 $\dot{E}_{w\triangle}$ 30°电角。

正弦绕组中的两套绕组有两种联结方式：1）延边三角形联结，以符号⅄表示；2）星形——三角形联结，以符号△表示。现分别叙述如下：

一、延边三角形联结

这种联结方式首先应将三角形部分绕组联结成 1 个三角形，然后将星形部分绕组分别联结到三角形的 3 个顶点，引出 3 根线，接至三相电源，见图 3-4a。这种联结方式从图形上看就好像将三角形的 3 条边延长，因此称为延边三角形。

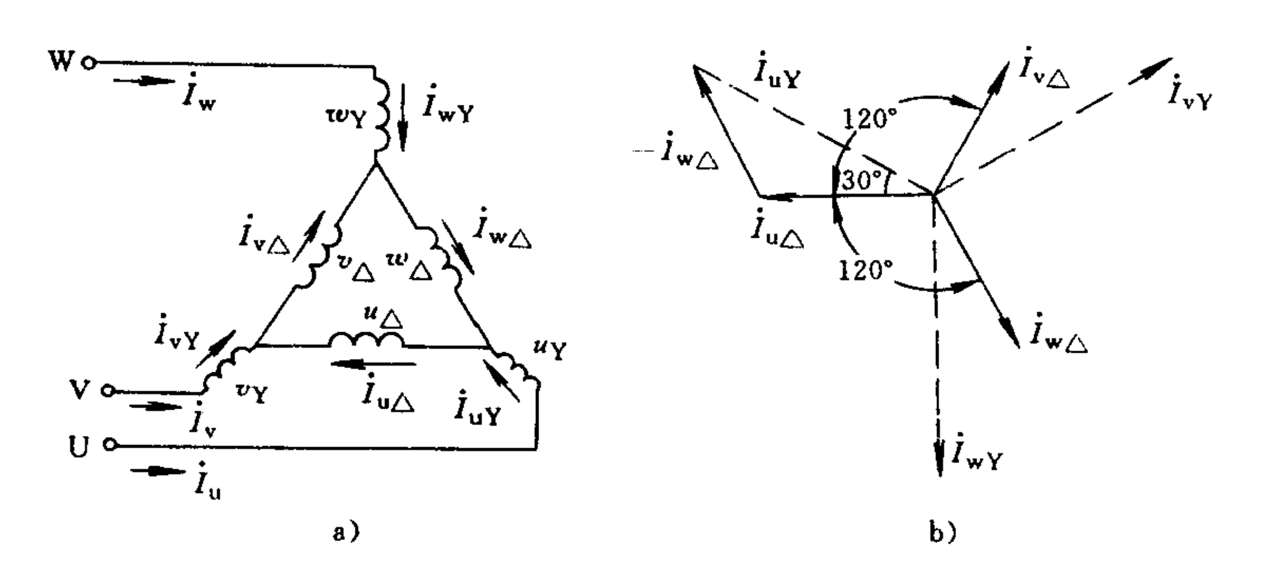


图 3-4　延边三角形联结

a）绕组联结图　b）电流相量图

三相对称的三角形部分绕组中流过的电流 $\dot{I}_{u\triangle}$、$\dot{I}_{v\triangle}$、$\dot{I}_{w\triangle}$ 大小相等、相位互差 120°电角；而三相对称的星形部分绕组中流过的电流，即为三相线路电流 $\dot{I}_u=\dot{I}_{uY}$、$\dot{I}_v=\dot{I}_{vY}$、$\dot{I}_w=\dot{I}_{wY}$。由绕组联结图可知

$$\dot{I}_u = \dot{I}_{uY} = \dot{I}_{u\triangle} + (-\dot{I}_{w\triangle})$$
$$\dot{I}_v = \dot{I}_{vY} = \dot{I}_{v\triangle} + (-\dot{I}_{u\triangle})$$
$$\dot{I}_w = \dot{I}_{wY} = \dot{I}_{w\triangle} + (-\dot{I}_{v\triangle})$$

其电流相量图见图 3-4b。由图可知，每相星形部分通过的电

流相位滞后于三角形部分对应相的相电流 30°时间电角，大小则等于三角形部分相电流的 $\sqrt{3}$ 倍。

二、星形—三角形联结

这种联结方式首先应分别将三角形部分绕组联结成 1 个三角形，星形部分绕组联结成 1 个星形，然后将星形部分绕组 3 根引出线分别与三角形部分绕组 3 个顶点联结起来，并接至三相电源，见图 3-5a。这种联结方式从图形上看就好像星形与三角形画在一起，故称为星形—三角形联结。

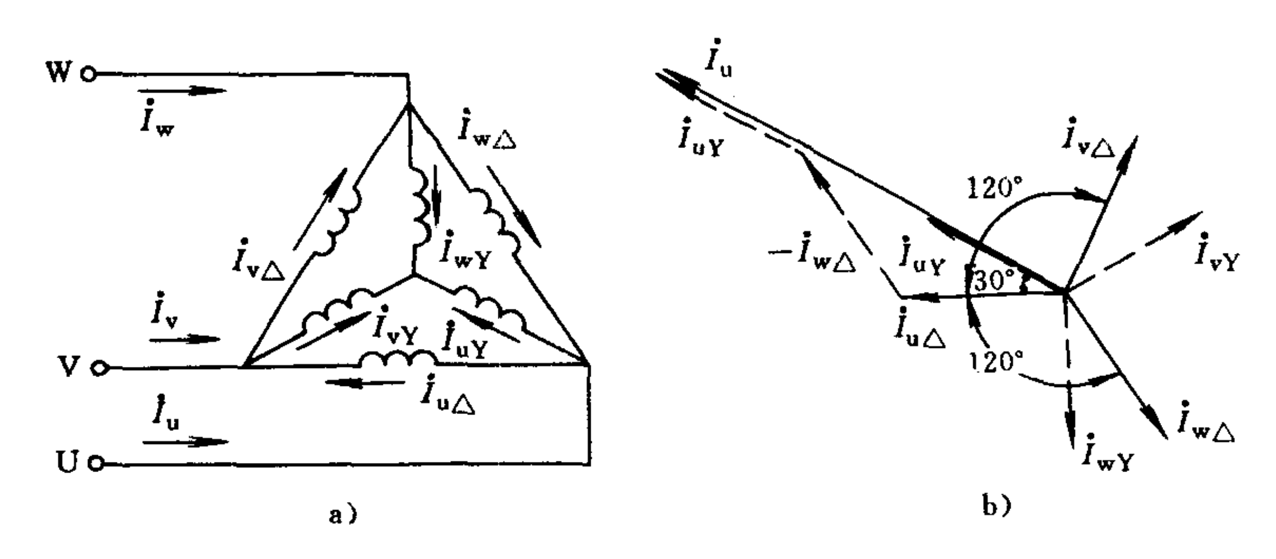


图 3-5　星形-三角形联结

a）绕组联结图　b）电流相量图

在星形—三角形联结的绕组中，每相星形部分通过的电流也滞后于三角形部分对应相的相电流 30°时间电角，而线路电流为

$$\dot{I}_u = \dot{I}_{u\triangle} + (-\dot{I}_{w\triangle}) + \dot{I}_{uY}$$
$$\dot{I}_v = \dot{I}_{v\triangle} + (-\dot{I}_{u\triangle}) + \dot{I}_{vY}$$
$$\dot{I}_w = \dot{I}_{w\triangle} + (-\dot{I}_{v\triangle}) + \dot{I}_{wY}$$

其相位与星形部分相电流同相位，而大小为星形部分相电流的（$1+\sqrt{3}$）倍。电流相量图见图 3-5b。

把每槽匝数考虑进去后，相电流，线电流相量已有相同的幅值，即 $N_{1\triangle}I_{u\triangle}=N_{1Y}I_{uY}$。在所考虑的这个瞬时，各相量在纵轴上的投影（即各槽电流的实际安匝数）的比例为：

$N_{1Y}I_{wY}$　为－1

$N_{1\triangle}I_{w\triangle}$　为－0.866

$N_{1Y}I_{vY}$　为＋0.5

$N_{1\triangle}I_{v\triangle}$　为＋0.866

$N_{1Y}I_{uY}$　为＋0.5

$N_{1\triangle}I_{u\triangle}$　为　0

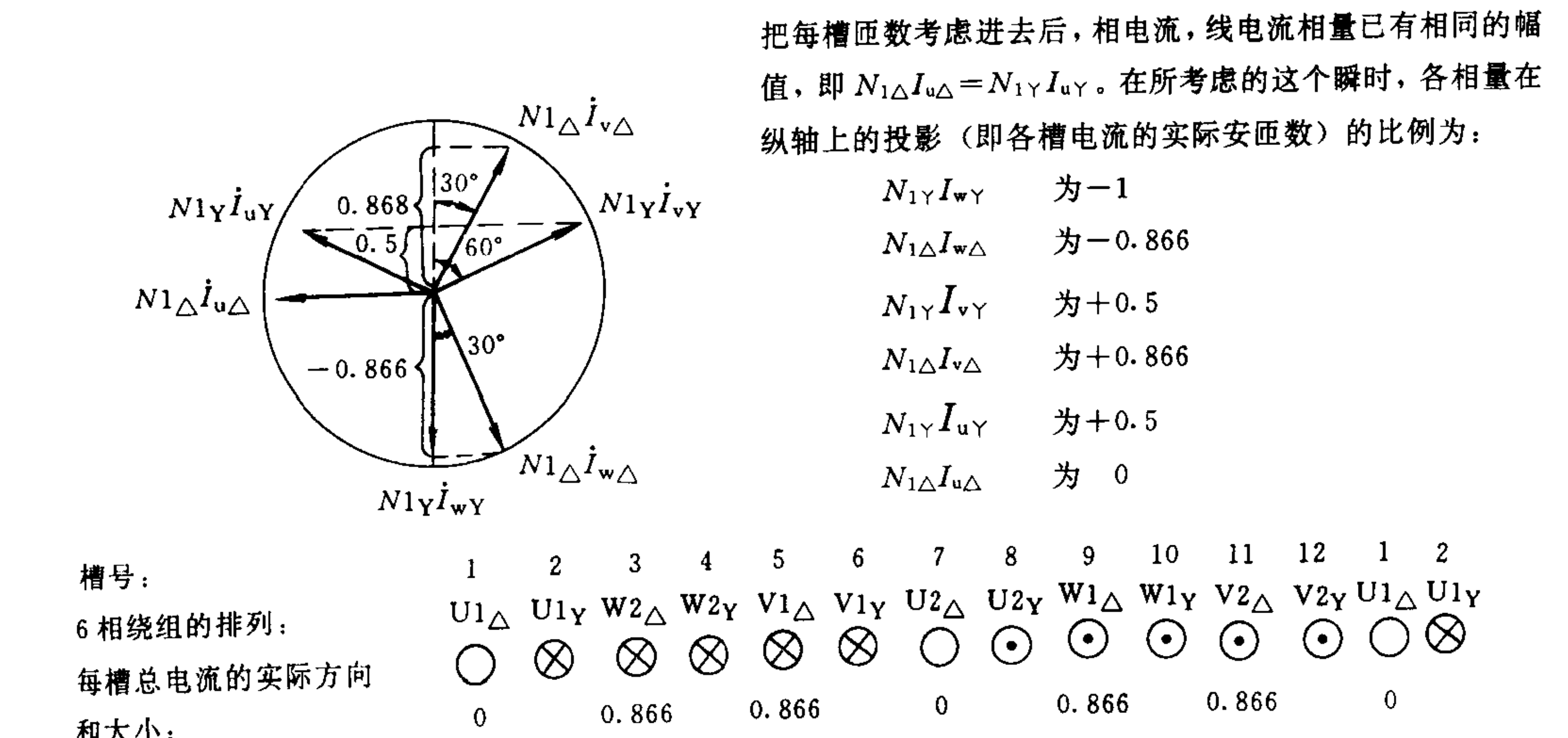


图 3-6　正弦绕组的排列及其每槽总电流沿圆周的分布

正弦绕组，就是利用星形部分的每相绕组，在定子槽内排列时滞后于三角形部分相应相绕组 30°空间电角，使两部分相绕组中的感应电动势有 30°电角的相位差。同时，绕组的联结（接成△或△），又保证了星形部分相绕组中的电流滞后于三角形部分相应相绕组中的电流 30°时间电角，从而显著改善了定子绕组旋转磁场波形，即消除或削弱了磁势曲线中的 5 次、7 次等一系列高次谐波。

我们以延边三角形接法的正弦绕组为例来进行说明：从图 3-4 延边三角形接法的电流相量图中可以看出，星形部分相电流的有效值为三角形部分相电流有效值的 $\sqrt{3}$ 倍，如 $I_{uY}=\sqrt{3}\,I_{u\triangle}$。为了使定子每槽电流总的安匝数的有效值相同，应使三角形部分的每个线圈的匝数为星形部分的每个线圈的匝数的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $N_{1\triangle}=\sqrt{3}\,N_{1Y}$。这时可以把图 3-4b 所示的电流相量图换成用安匝数表示，其中 6 个电流相量都有相同的幅值。图 3-6 就是每对极 12 槽、单层正弦绕组排列及其每槽总电流沿圆周的分布。

从图 3-6 正弦绕组的槽电流沿圆周的分布可见，槽电流沿圆周的分布曲线已与理想的正弦曲线相吻合。将其与三相绕组的槽电流沿圆周的分布相比，就可看出正弦绕组可以把磁势曲线中一系列高次谐波消除或显著地削弱。

第二节　正弦绕组的排列和联结

一、每极每相槽数 q 为偶数时正弦绕组的排列和联结方法

现以定子槽数 $Q_1=24$、极数 $2p=4$ 为例来说明正弦绕组的排列和联结。

1. 计算电角度　由定子槽数 $Q_1=24$、极数 $2p=4$，算出每槽电角度

$$\alpha=\frac{2p\times180^\circ}{Q_1}=\frac{4\times180^\circ}{24}=30^\circ$$

作出电动势星形图，见图 3-7。

2. 利用槽电动势星形图确定绕组的排列　三相绕组按每极每相槽数 $q=\frac{Q11_1}{m\times2p}=\frac{Q_1}{6p}=\frac{24}{6\times2}=2$ 进行排列。而正弦绕组分别按三角形部分和星形部分的每极每相槽数 $q_\triangle=q_Y=\frac{q}{2}=1$ 进行排列。例如，1 号槽属于 U 相三角形部分，以 $U1_\triangle$ 表示；2 号槽则属于 U 相星形部分，以 $U1_Y$ 表示；余此类推。其顺序为 $U1_\triangle$、$U1_Y$、$W2_\triangle$、$W2_Y$、$V1_\triangle$、$V1_Y$、$U2_\triangle$、$U2_Y$、$W1_\triangle$、$W1_Y$、$V2_\triangle$、$V2_Y$，见图 3-7。

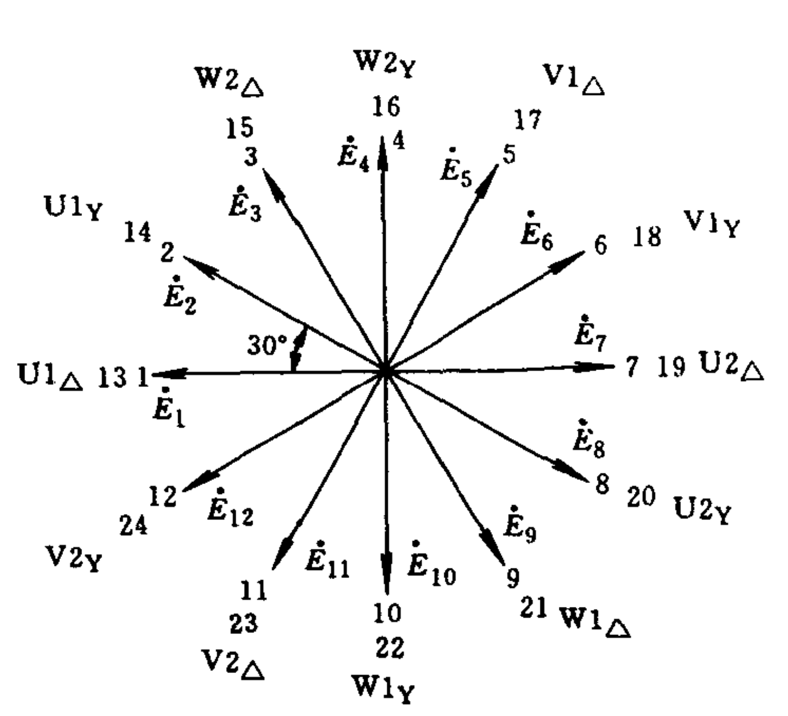


图 3-7　$Q_1=24$，$2p=4$，槽电动势星形及正弦绕组的排列

3. 由槽电动势星形图和绕组排列，画出相电动势星形图　将属于同一相的槽电动势相量相加，则得到该相的相电动势相量，见图 3-8。

从图中可以看出，三角形部分的 3 个相电动势 $\dot{E}_{u\triangle}$、$\dot{E}_{v\triangle}$、$\dot{E}_{w\triangle}$之间彼此互差 120°电角；星形部分的 3 个相电动势 $\dot{E}_{uY}$、

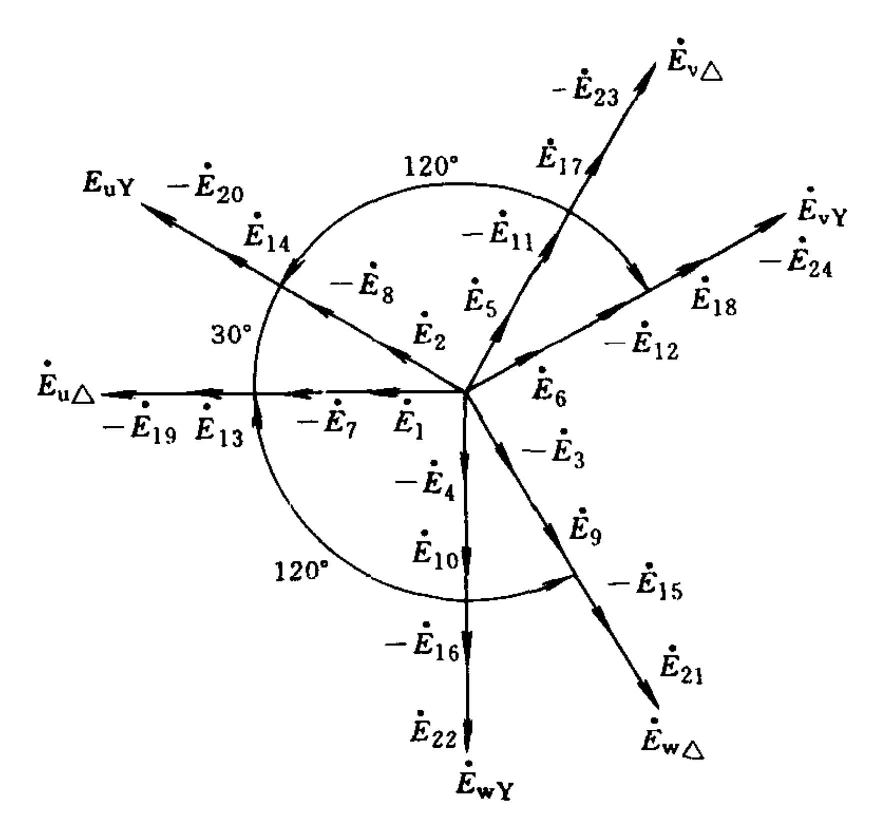


图 3-8　$Q_1=24$，$2p=4$ 正弦绕组的相电动势星形图

$\dot{E}_{vY}$、$\dot{E}_{wY}$之间彼此也互差 120°电角。而且，星形部分绕组的相电动势滞后于三角形部分绕组相应相的相电动势 30°电角。如 $\dot{E}_{uY}$滞后于 $\dot{E}_{u\triangle}$30°电角，$\dot{E}_{vY}$滞后于 $\dot{E}_{v\triangle}$30°电角，$\dot{E}_{wY}$滞后于 $\dot{E}_{w\triangle}$30°电角。

4. 根据相电动势星形图，画出正弦绕组的平面展开图和接线图　图 3-9a 为 U 相三角形部分绕组展开图，图 3-9b 为正弦绕组平面展开图。

由于画绕组的平面展开图比较麻烦，实际上有时画出绕组的简图来表示相绕组的接线方法，见图 3-10。三角形部分 U 相绕组的首端为 $D1_\triangle$，末端为 $D4_\triangle$；V 相绕组的首端为 $D2_\triangle$，末端为 $D5_\triangle$；W 相绕组的首端为 $D3_\triangle$，末端为 $D6_\triangle$。而星形部分 U 相绕组的首端为 $D1_Y$，末端为 $D4_Y$；V 相绕组的首端为 $D2_Y$，末端为 $D5_Y$；W 相绕组的首端为 $D3_Y$，末端为 $D6_Y$。

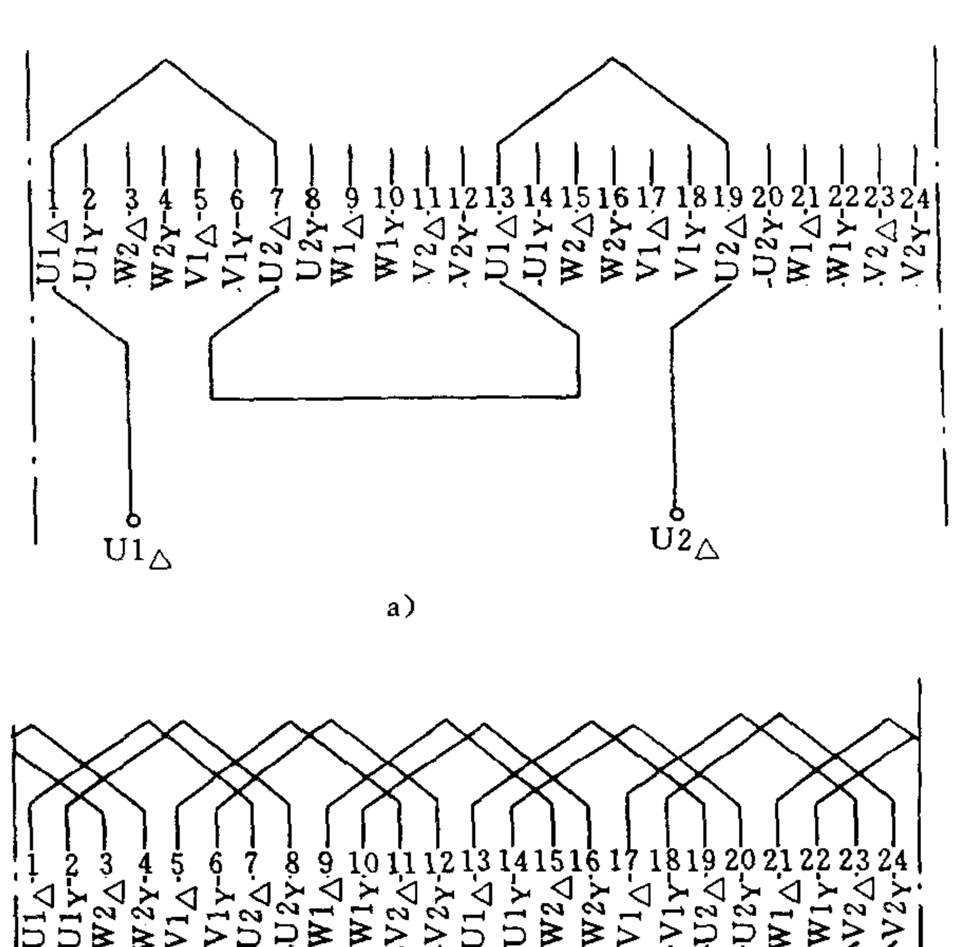


图 3-9 $Q_1=24$、$2p=4$ 单层正弦绕组平面展开图

a）U 相三角形部分绕组 b）正弦绕组平面展开图

5. 根据相电动势星形图及相绕组接线图，画出三角形与星形混合接成延边三角形（⅄）或星形—三角形（$\triangle$）的正弦绕组接线图 为了使混合接法不致接错，这里介绍一种使相电动势星形图与混合接法的绕组接线图一致起来的画法。

首先，在对槽电动势星形图中槽电动势相量进行编号时，

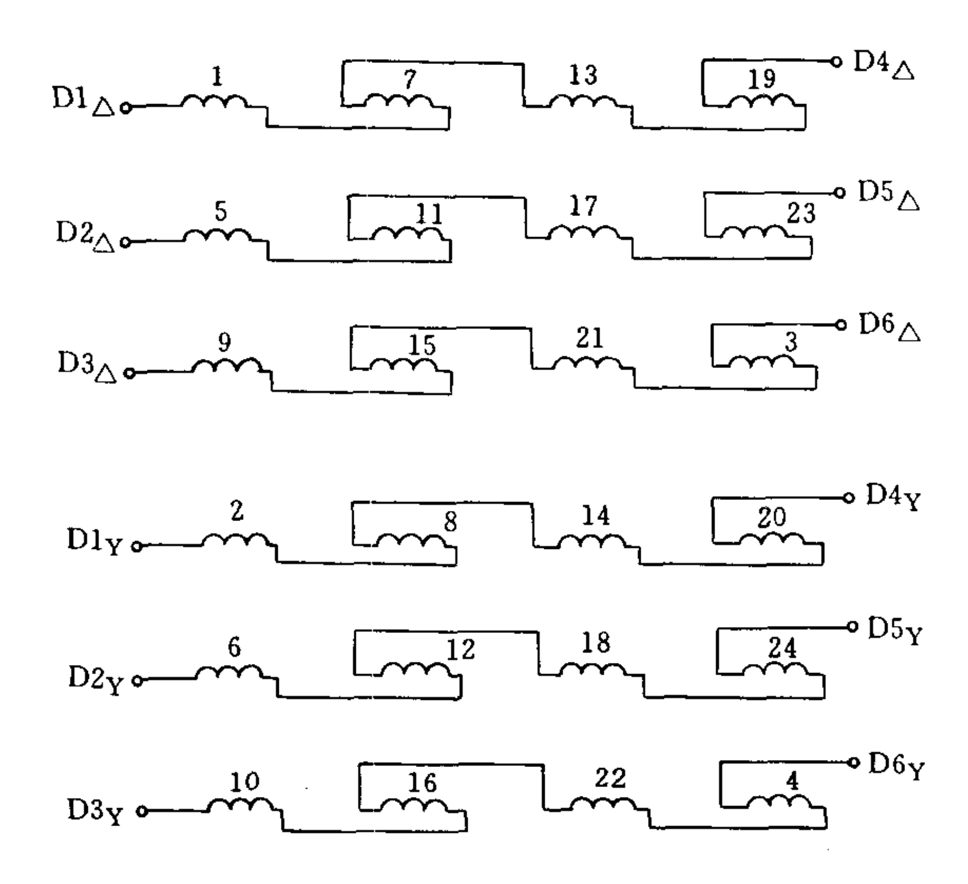


图 3-10　正弦绕组中三角形与星形部分的相绕组简图

要注意使相电动势 $\dot{E}_{u\triangle}$的箭头方向朝左呈水平位置，见图 3-11。因为编号按顺时针方向进行，相电动势 $\dot{E}_{uY}$ 滞后于 $\dot{E}_{u\triangle}$ 30°电角，而相电动势 $\dot{E}_{vY}$ 滞后于 $\dot{E}_{v\triangle}$ 30°电角，$\dot{E}_{wY}$ 又滞后于 $\dot{E}_{w\triangle}$ 30°电角。

其次，是把三角形部分的 3 个相绕组接成三角形，其相电动势相量也呈三角形，见图 3-11。

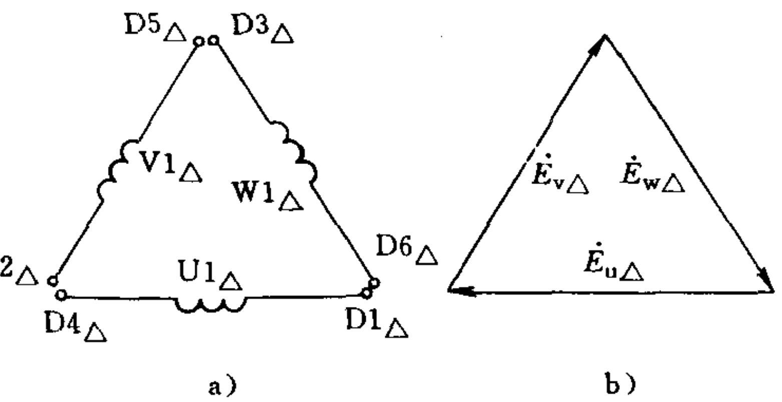


图 3-11　三角形部分绕组联结图和相电动势相量图
a）绕组联结图　b）相电动势相量图

最后，把星形部分 3 个相绕组与三角形部分 3 个相

绕组混合联结起来。当接成延边三角形时，其相电动势相量图呈延边三角形，见图 3-12。当接成星形—三角形时，其相电动势相量图也呈星形—三角形，见图 3-13。

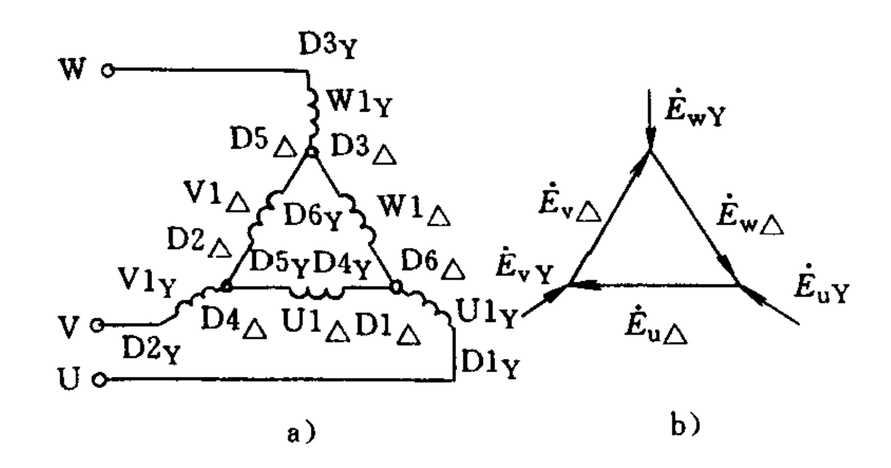


图 3-12　延边三角形接法时的正弦绕组

a）绕组联结图　b）相电动势相量图

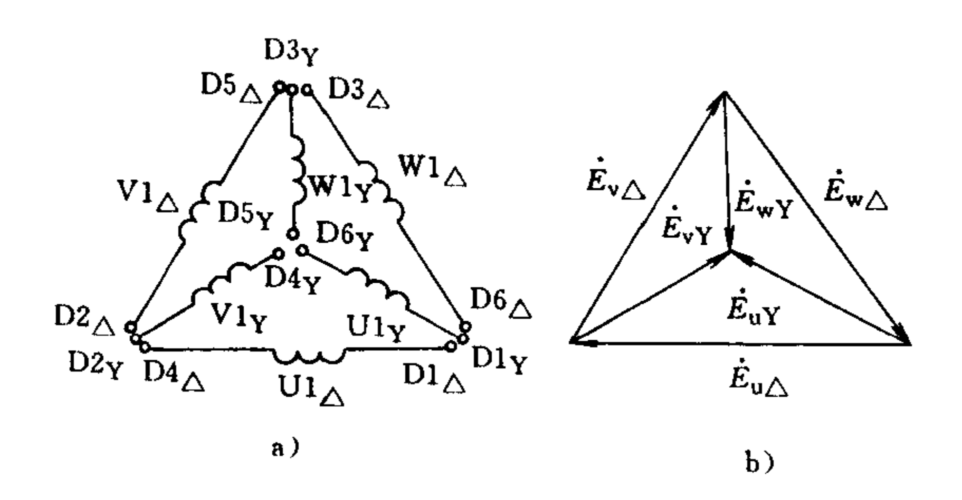


图 3-13　星形—三角形接法时的正弦绕组

a）绕组联结图　b）相电动势相量图

图 3-14 是 $Q_1=24$、$2p=4$、延边三角形接法的正弦绕组的接线简图。有 9 根引出线，对容量较大的三相异步电动机可采用星形（Y）—延边三角形（⅄）启动法，就是在启动时将定子绕组接成星形，启动完毕后改接成延边三角形投入运行。这是充分利用正弦绕组优点的一个重要方面，可以改

善异步电动机的启动性能。这种启动方法和延边三角形启动法中最佳抽头比例时的效果同样好。

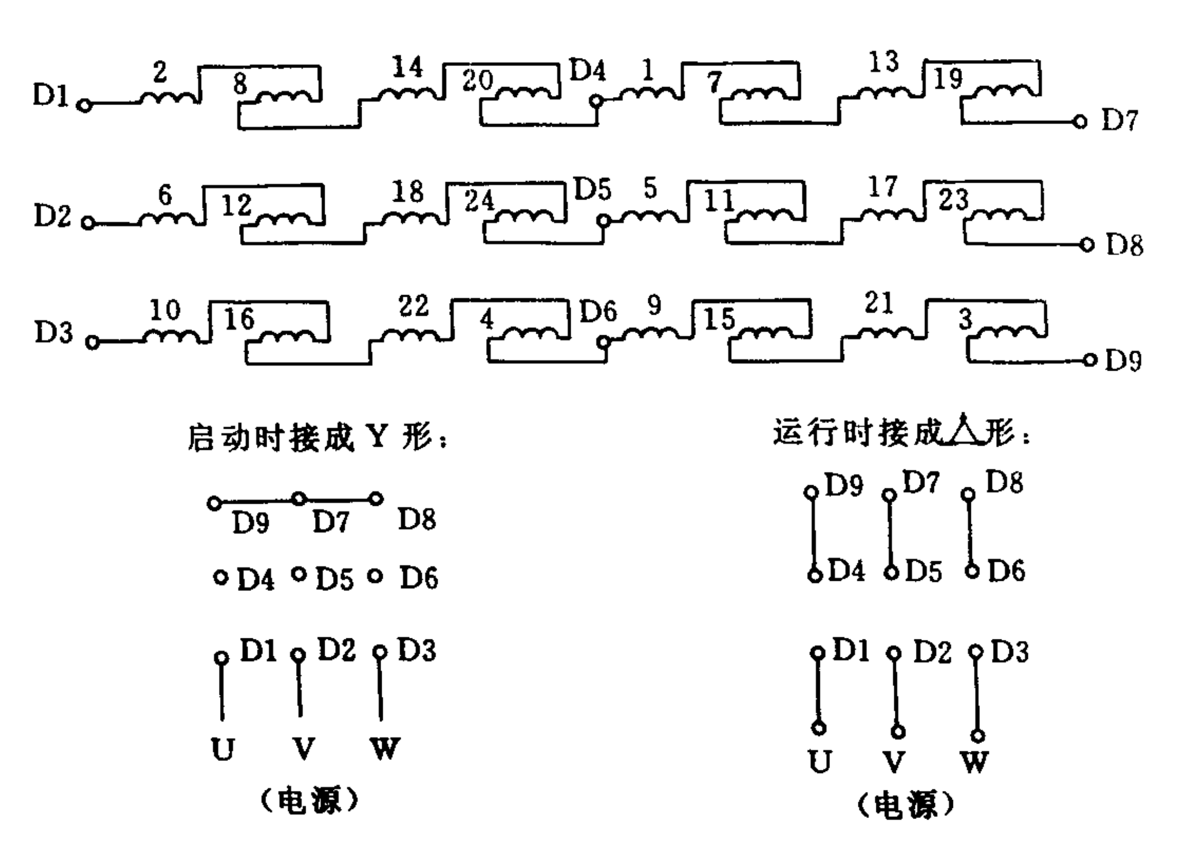


图 3-14 $Q_1=24$、$2p=4$ 的正弦绕组联结图

（接成△，并联支路数 $a_{\triangle}=a_{Y}=1$）

为了简化出线头的标号，在绕组简图中，我们已将三角形部分U相绕组的首端$D1_{\triangle}$用D4来表示，末端$D4_{\triangle}$用D7表示；V相绕组的首端$D2_{\triangle}$用D5表示，末端$D5_{\triangle}$用D8表示；W相绕组的首端$D3_{\triangle}$用D6表示，末端$D6_{\triangle}$用D9表示。而星形部分U相绕组的首端$D1_{Y}$用D1表示，末端$D4_{Y}$用D4表示；V相绕组的首端$D2_{Y}$用D2表示，末端$D5_{Y}$用D5表示；W相绕组的首端$D3_{Y}$用D3表示，末端$D6_{Y}$用D6表示。

以上讨论的是从作出电动势星形图确定绕组的排列、画出正弦绕组接线图的方法，对于每极每相槽数$q=\frac{Q_1}{6p}=2$、4、

6、8……，即 q 为偶数的情况都是适用的。另外，上例为正弦单层绕组，对于正弦双层绕组也是适用的。

现以定子槽数 $Q_1=48$、极数 $2p=4$ 为例来说明正弦双层绕组的排列和联接。

（1）由定子槽数 $Q_1=48$、极数 $2p=4$，计算出每槽电角度

$$\alpha=\frac{2p\times180^\circ}{Q_1}=\frac{4\times180^\circ}{48}=15^\circ$$

作出电动势星形图，见图 3-15。

（2）利用槽电动势星形图确定绕组的排列　正弦绕组分别按三角形部分和星形部分的每极每相槽数 $q_\triangle=q_Y=\frac{q}{2}=$

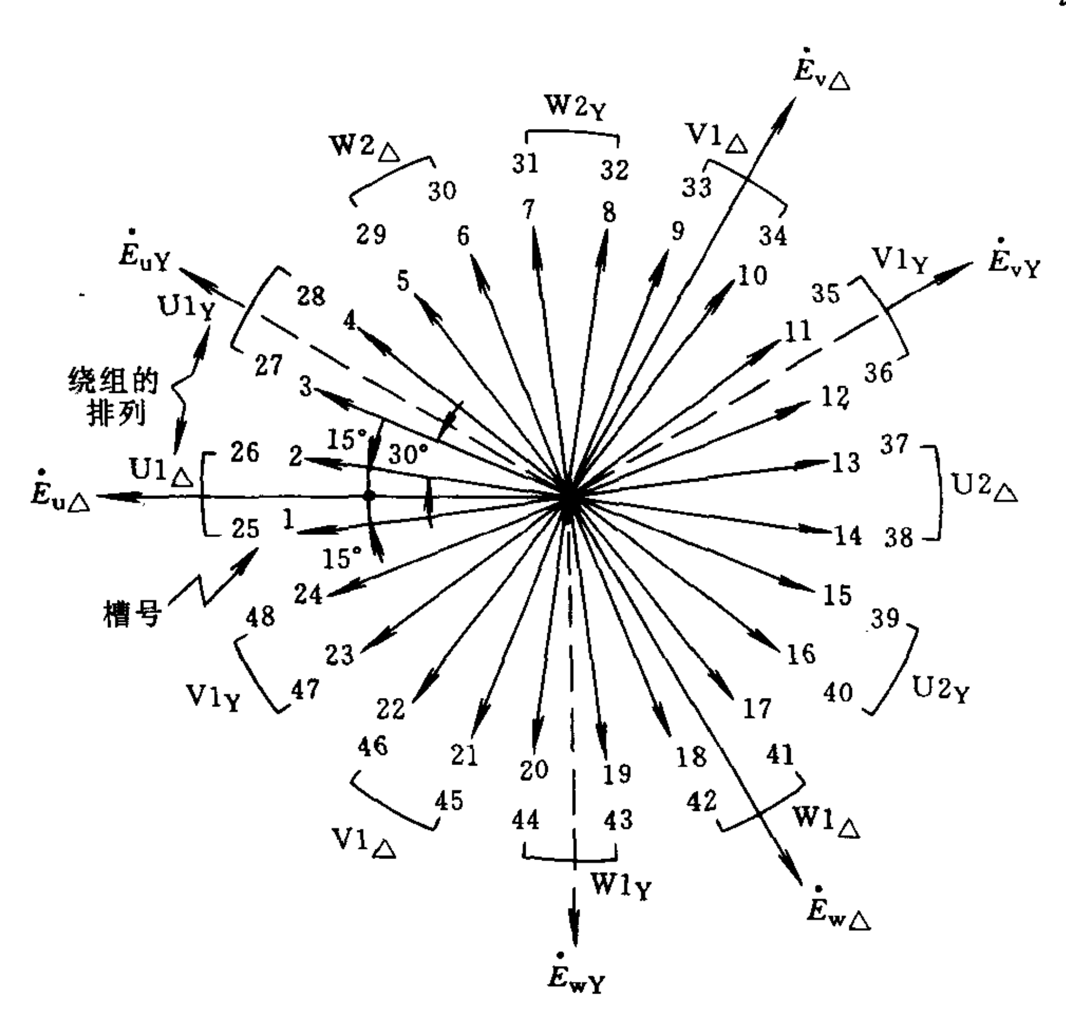


图 3-15　$Q_1=48$、$2p=4$ 槽电动势星形及正弦绕组排列

2 $q=\frac{Q_1}{6p}=\frac{48}{6\times 2}=4$）来进行排列。

（3）由槽电动势星形图和绕组排列（图 3-15）画出相电动势星形图 见图 3-16。

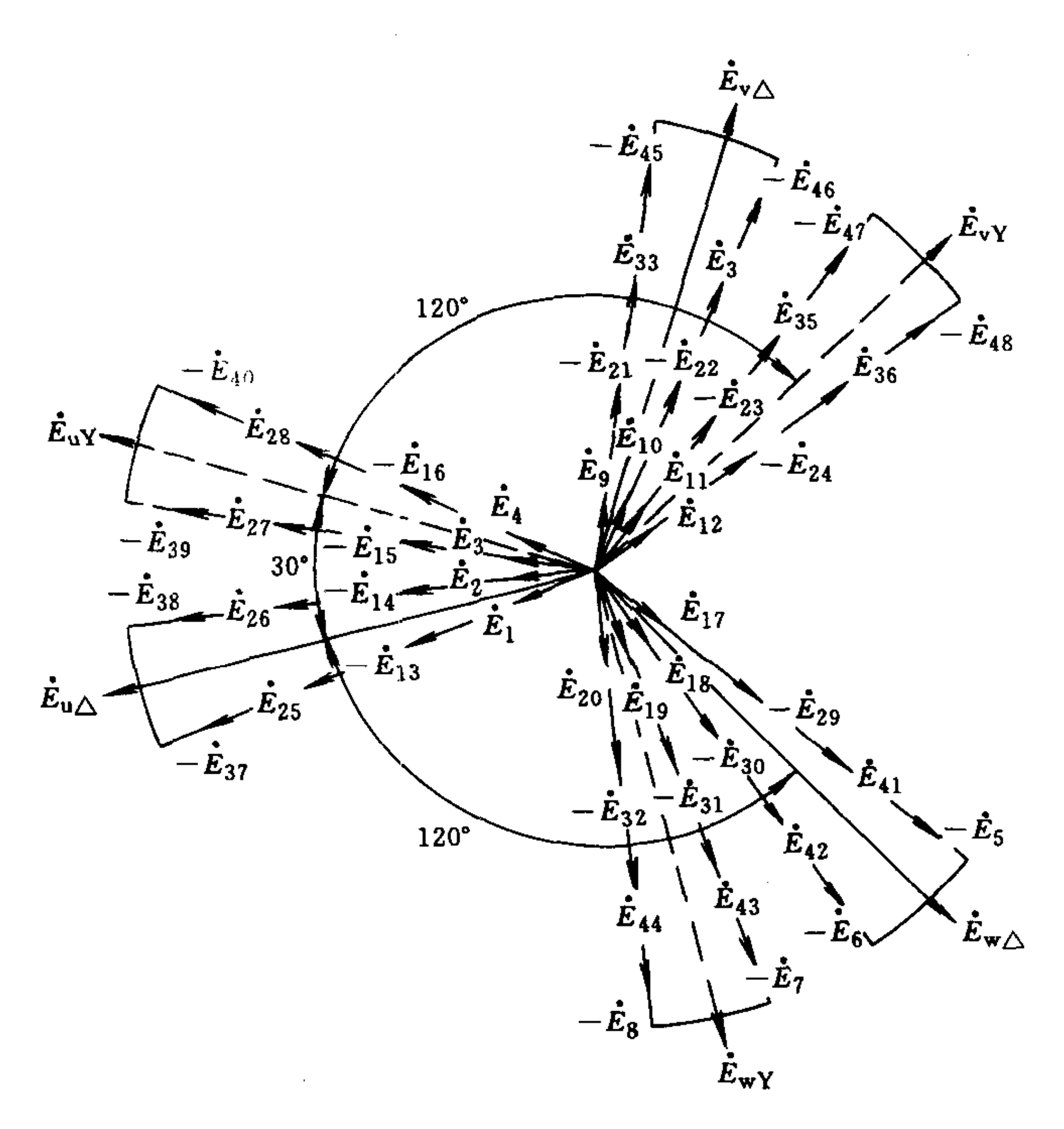


图 3-16 $Q_1=48$、$2p=4$ 正弦绕组相电动势星形图

（4）根据相电动势星形图画出相绕组平面展开图（图 3-17）和接线图（图 3-18） 在实际应用中，为了便于接线，根据正弦绕组平面展开图可画出接线图，见图 3-19。

（5）根据相电动势星形图及相绕组接线图，画出三角形

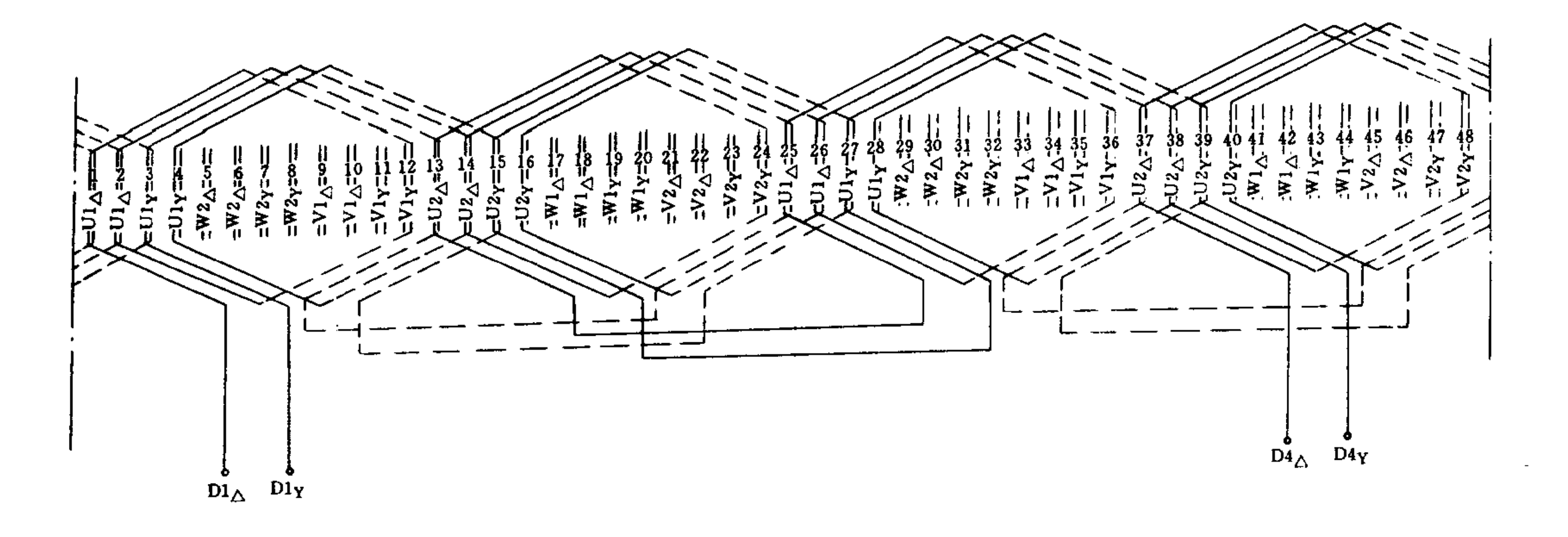


图 3-17 $Q_1=48$、$2p=4$ 正弦双层绕组中三角形与星形部分 U1 相绕组平面展开图

$(a_{\triangle}=a_{Y}=1)$

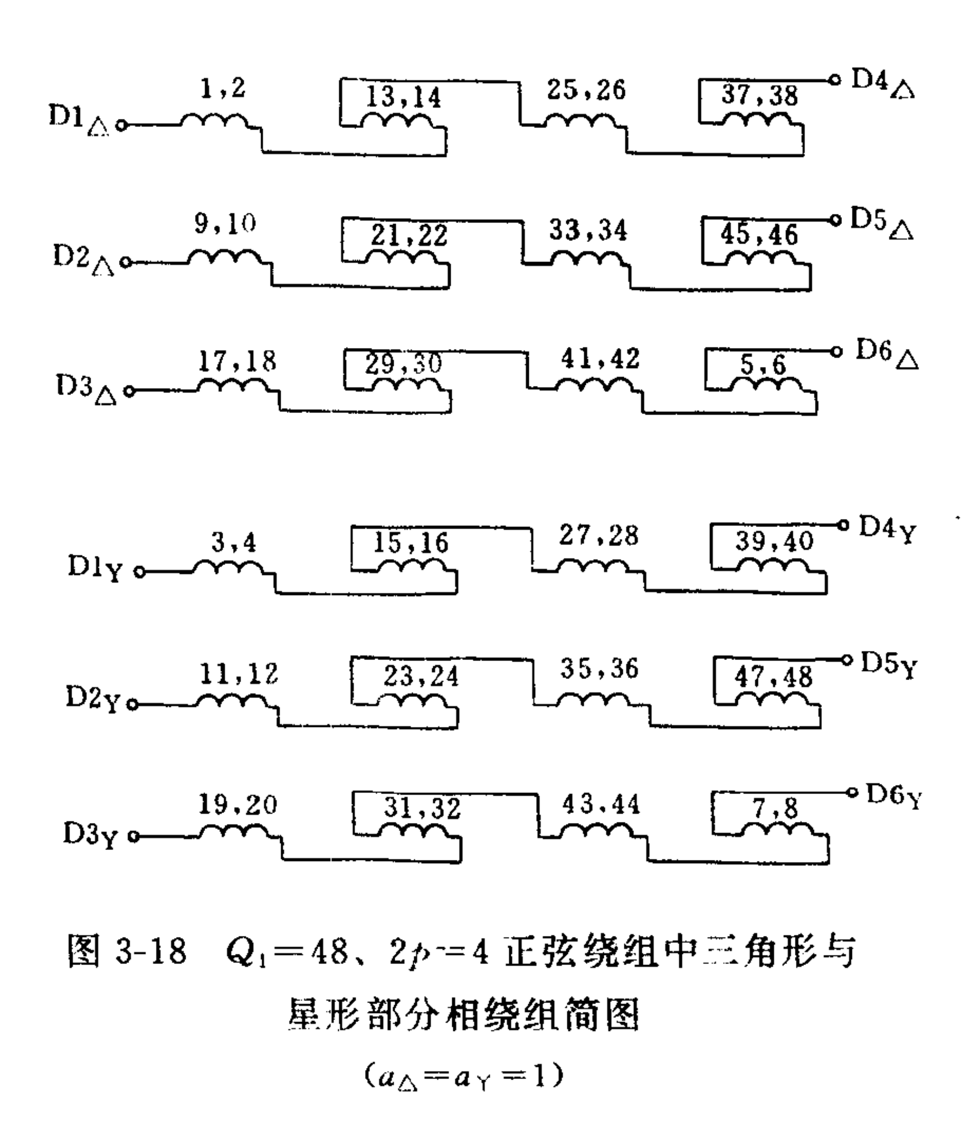


图 3-18　$Q_1=48$、$2p=4$ 正弦绕组中三角形与星形部分相绕组简图
($a_\triangle=a_Y=1$)

与星形混合接成延边三角形或星形—三角形的正弦绕组的接线图　见图 3-12 和图 3-13。

二、每极每相槽数 q 为奇数时正弦绕组的排列和联结方法

每极每相槽数 q 为奇数时，正弦绕组有 3 种可供选择的排列方法。现以定子槽数 $Q_1=36$、极数 $2p=4$ 为例来说明 q 为奇数时，正弦绕组的轮换排列、不轮换排列和单双层混合排列及联结方法。

1. 轮换排列　轮换排列的特点是在第 1 个极距内，三角形部分比星形部分多占 1 个槽，而在第 2 个极距内，星形部

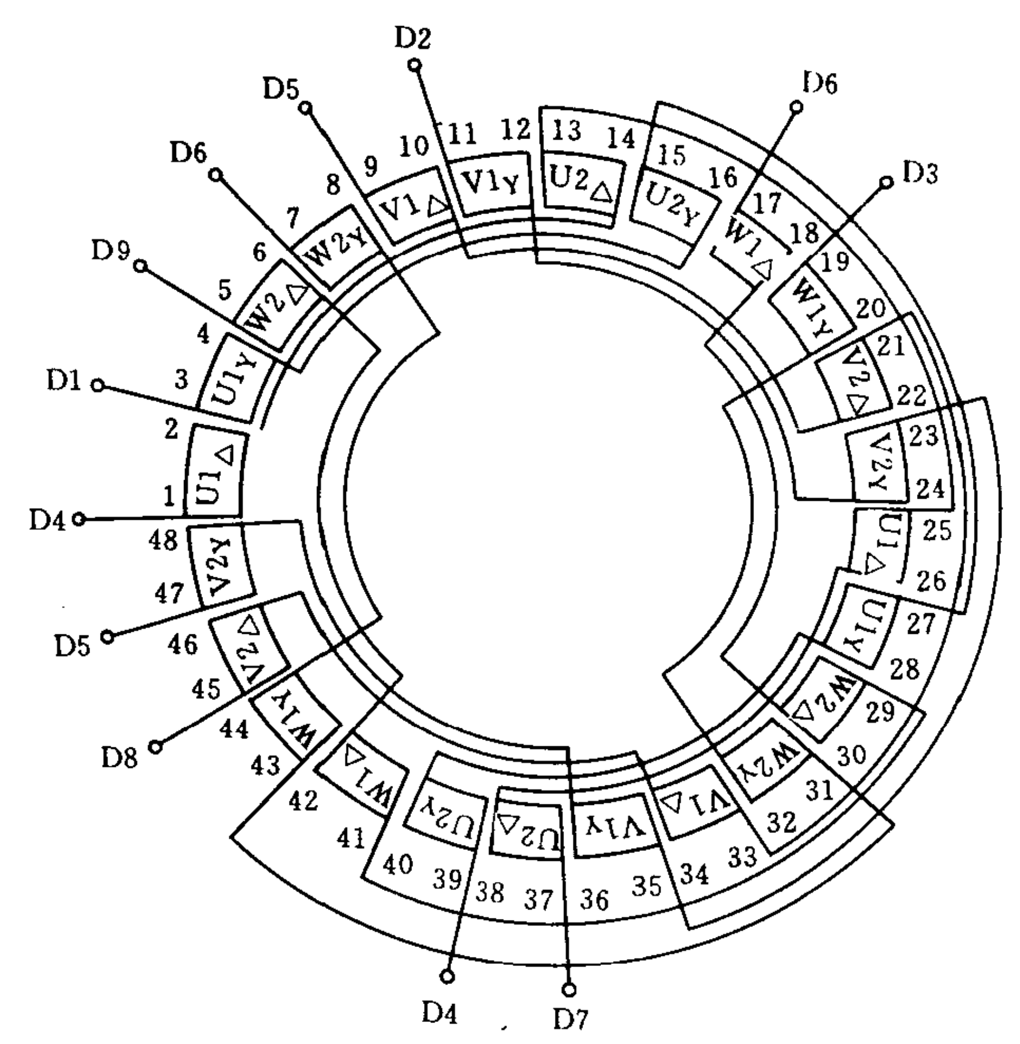


图 3-19　$Q_1=48$、$2p=4$ 正弦绕组接线图

($a_{\triangle}=a_{Y}=1$)

分比三角形部分多占 1 个槽。第 2 对极与第 1 对极排列的情况相同，余此类推。

（1）由定子槽数 $Q_1=36$、极数 $2p=4$，计算每槽电角度

$$\alpha=\frac{2p\times180^{\circ}}{Q_1}=\frac{4\times180^{\circ}}{36}=20^{\circ}$$

作出电动势星形图，见图 3-20。

（2）利用槽电动势星形图确定绕组的排列　正弦绕组三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_{\triangle}=q_{Y}=\frac{q}{2}=\frac{3}{2}$（其中

$q=\frac{Q_1}{6p}=\frac{36}{6\times2}=3$ 为奇数），按照轮换排列原则，即在第 1 个极距内，三角形部分比星形部分多占 1 个槽。例如，1、2 两号槽属于 U 相三角形部分，3 号槽属于 U 相星形部分，余此类推。而在第 2 个极距内，则星形部分较三角形部分多占 1 个槽。例如，10 号槽属于 U 相三角形部分，11、12 两号槽属于 U 相星形部分，余此类推。其绕组排列见图 3-20。

（3）由槽电动势星形图和绕组排列，画出相电动势星形图　见图 3-20。

（4）根据相电动势星形图，画出相绕组的平面展开图、绕组简图和接线图　见图 3-21～图 3-23。

（5）根据相电动势星形图及相绕组接线图，画出三角形

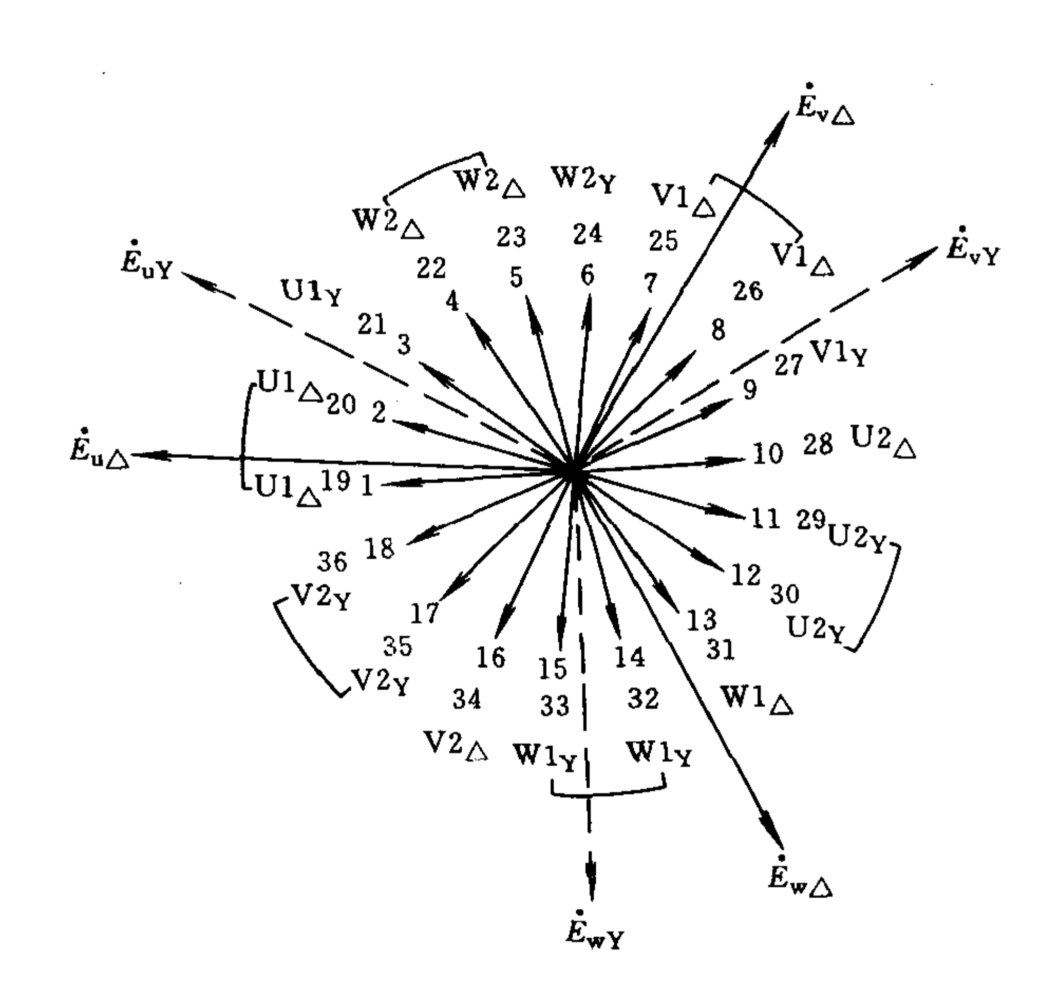


图 3-20　$Q_1=36$、$2p=4$ 电动势星形图及正弦绕组轮换排列

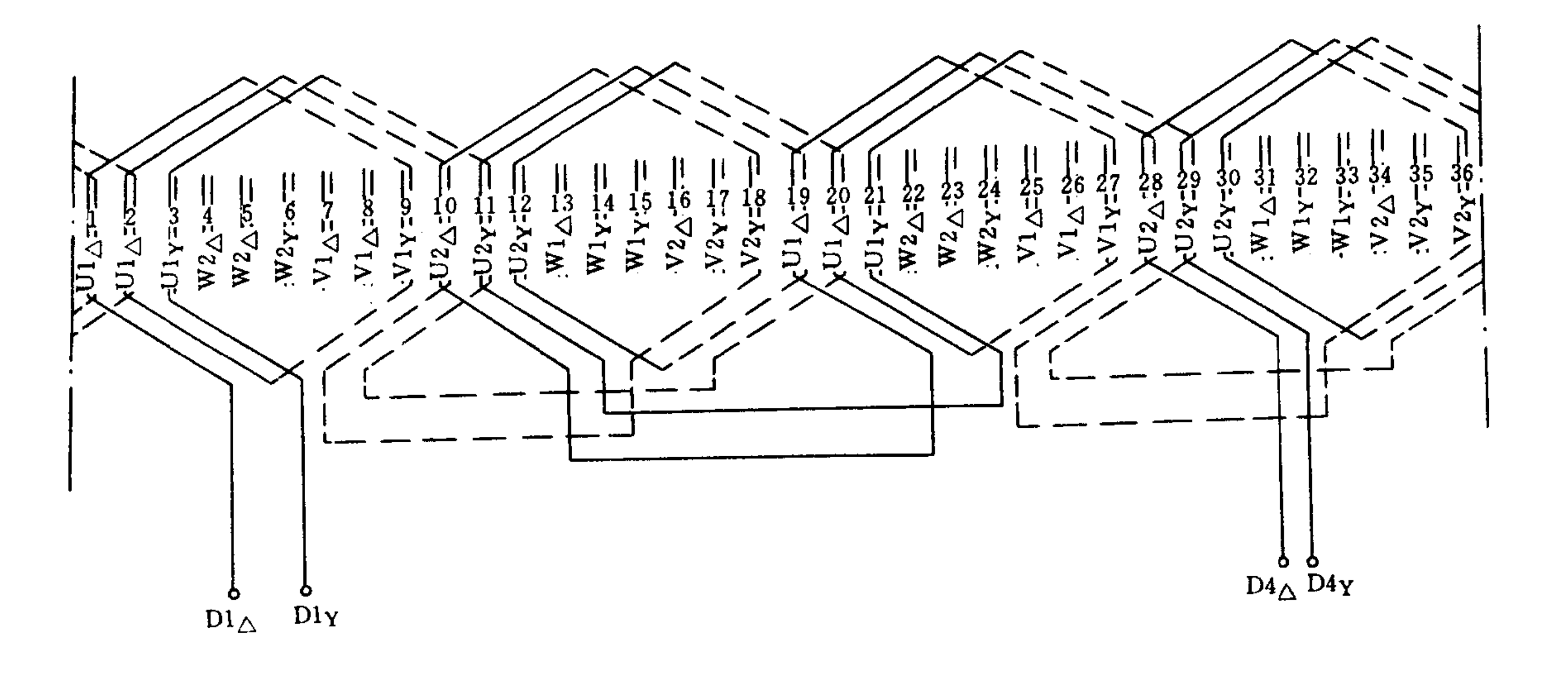


图 3-21 $Q_1=36$、$2p=4$ 正弦绕组（轮换排列）平面展开图

（$a_\triangle=a_Y=1$）

D1△ 1,2 10 19,20 28 D4△
D1Y 3 11,12 21 29,30 D4Y
D2△ 7,8 16 25,26 34 D5△
D2Y 9 17,18 27 35,36 D5Y
D3△ 13 22,23 31 4,5 D6△
D3Y 14,15 24 32,33 6 D6Y

图 3-22 $Q_1=36$、$2p=4$ 正弦绕组简图

($a_{\triangle}=a_{Y}=1$)

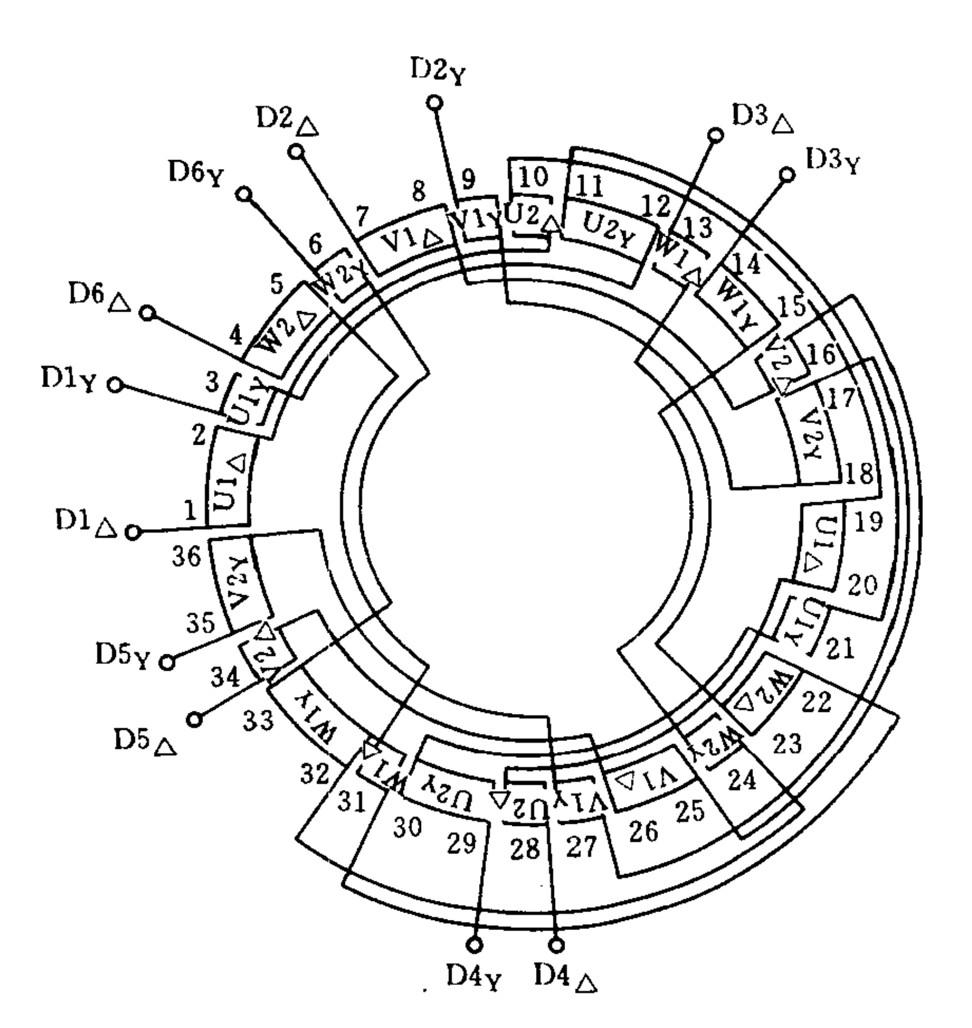


图 3-23 $Q_1=36$、$2p=4$ 正弦绕组轮换排列接线图

($a_{\triangle}=a_{Y}=1$)

与星形混合接成延边三角形或星形一三角形的正弦绕组的接线图 见图 3-12 和图 3-13。

2. 不轮换排列 不轮换排列的特点是在每一个极距内，每相三角形部分比星形部分多占 1 个槽。当每极每相槽数 $q=3$时，取 $q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=1$，可画出电动势星形图、绕组平面展开图及接线图，见图 3-24～图 3-26。

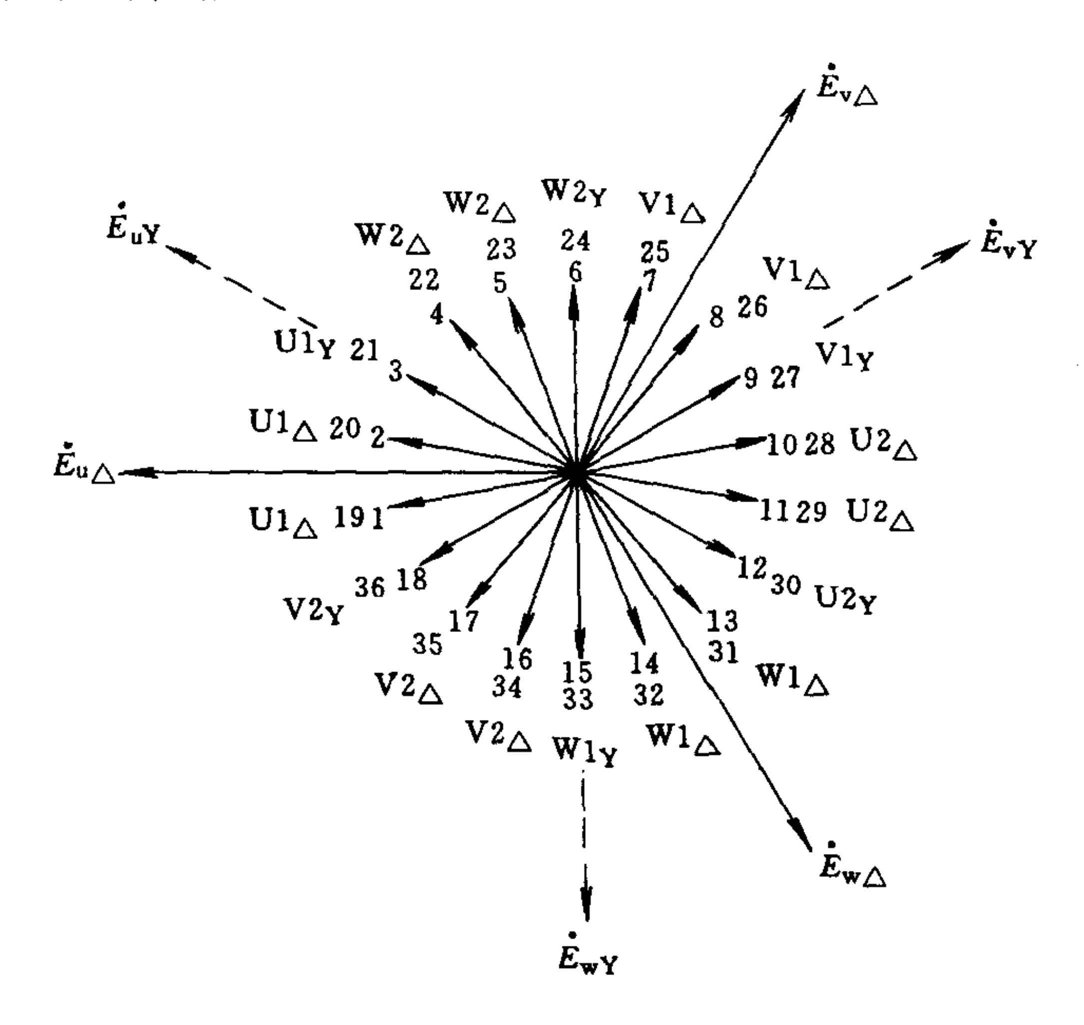


图 3-24 $Q_1=36$、$2p=4$ 电动势星形图及正弦绕组不轮换排列

3. 单双层混合排列 当三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{6p}=\frac{36}{6\times2}=3$ 为奇数时，正弦绕组可以为轮换排列和不轮换排列。当取 $q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=1$ 时，其绕组已经不是 30°相带绕组，但可以做到三角形部分相带的轴线和星形部分相应相带的轴

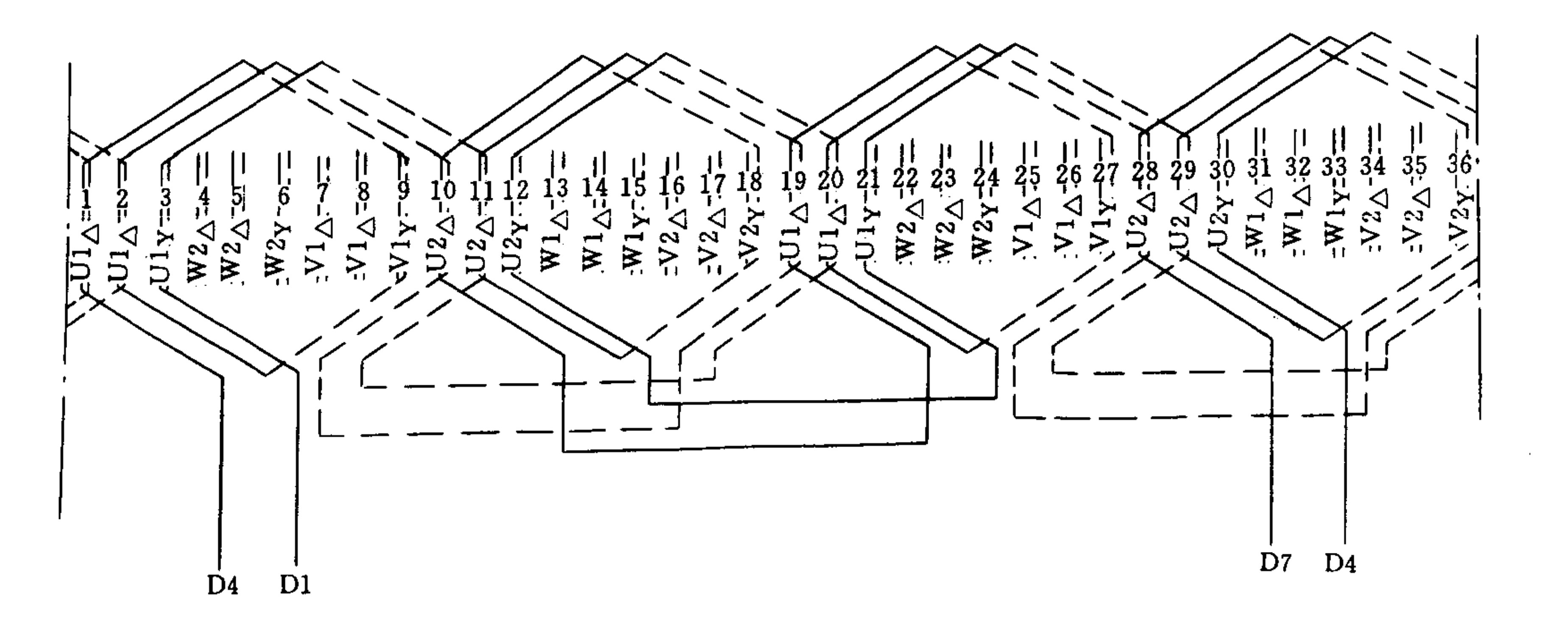


图 3-25　$Q_1=36$、$2p=4$ 正弦绕组（不轮换排列）平面展开图

$(a_\triangle=a_Y=1)$

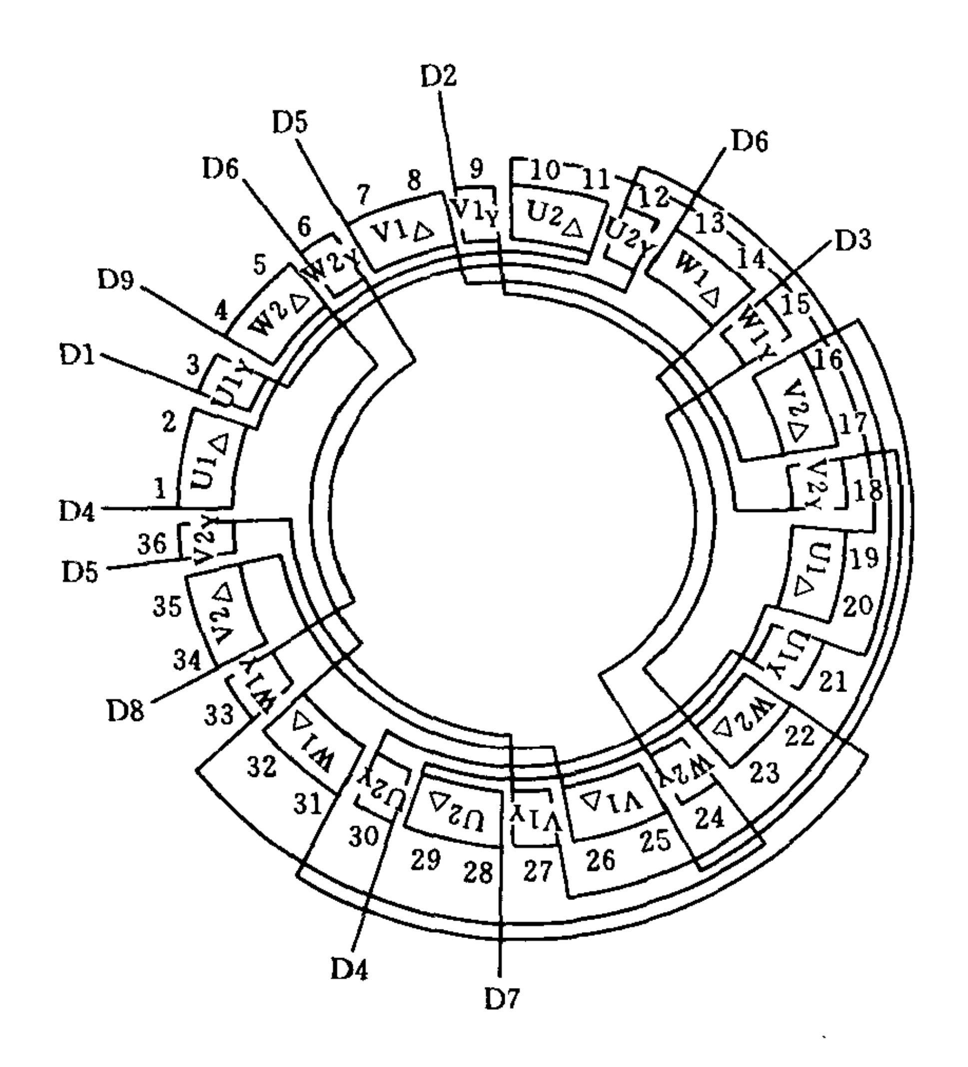


图 3-26　$Q_1=36$、$2p=4$ 正弦绕组不轮换排列接线图

($a_{\triangle}=a_{Y}=1$)

线之间有 30°的空间相位差，因而在它们中的感应电动势也有 30°的时间相位差，见图 3-24。该绕组接成延边三角形时，电动机也能很好地运行。

上述这种排列由于 $q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=1$，槽电流沿圆周的分布不是很理想的正弦分布。为了使其得到改善，使正弦绕组的优越性得到充分的发挥，可采用第 3 种排列方法，即取 $q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$，使星形部分绕组从一个集中绕组也变为一个分布绕组，但仍要保持三角形部分和星形部分绕组其相带的轴线在空间排列上有 30°的空间相位差，从而保持它们中的感应

电动势也有 30°的时间相位差，其绕组排列和电动势星形图见图 3-27。将定子槽分成上下两层，将三角形部分绕组置于一层，将星形部分绕组置于另一层，这样便形成了一种单双层混合绕组，见图 3-28。为了清楚起见，我们将三角形部分绕组和星形部分绕组展开图分别画出，见图 3-29 和图 3-30。从图中可以看出，三角形部分绕组采用单层链式绕组，而星形部分绕组则采用单层同心交叉式绕组。这种排列的绕组，节能效果相当好，而且小容量 4 极电动机大多数为 36 槽，所以这种绕组特别有实用意义。

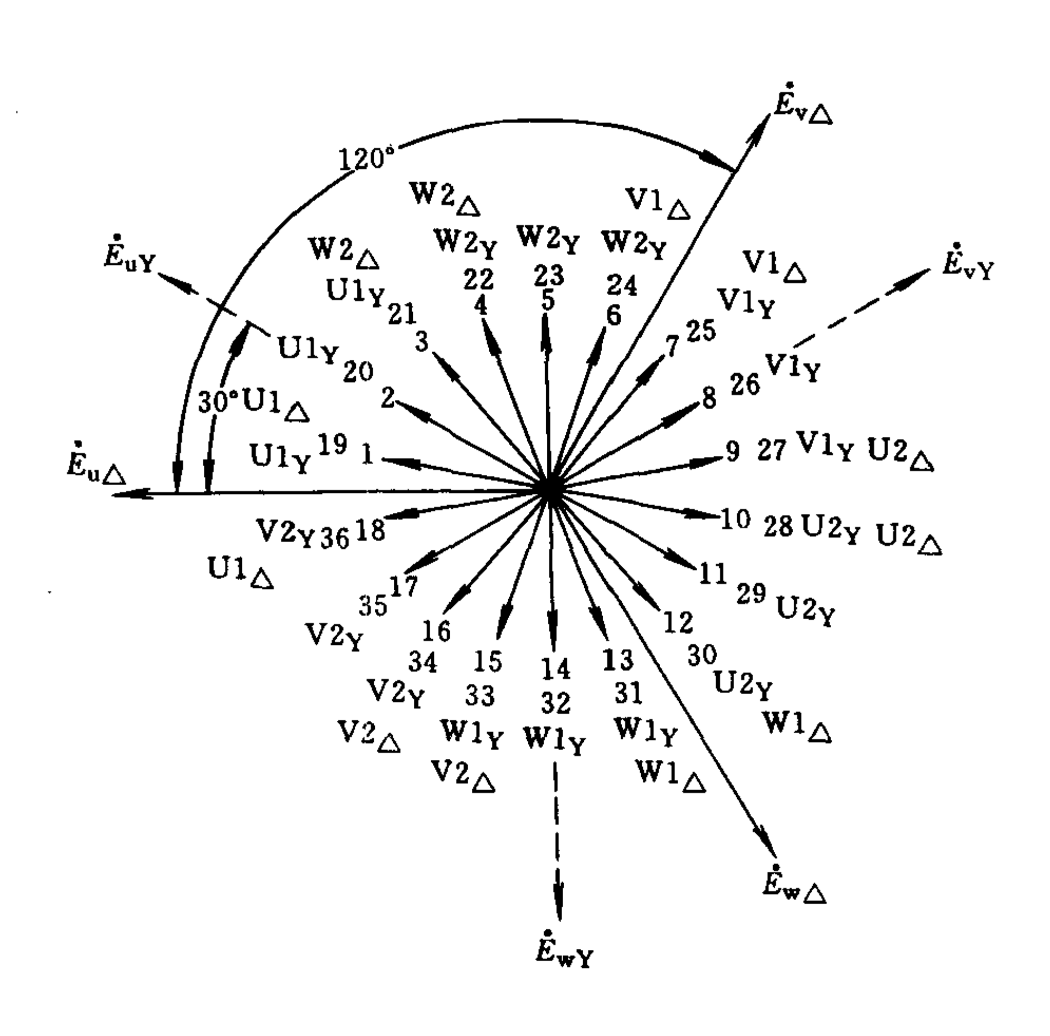


图 3-27　$Q_1=36$、$2p=4$ 电动势星形图及

正弦绕组单双层混合排列

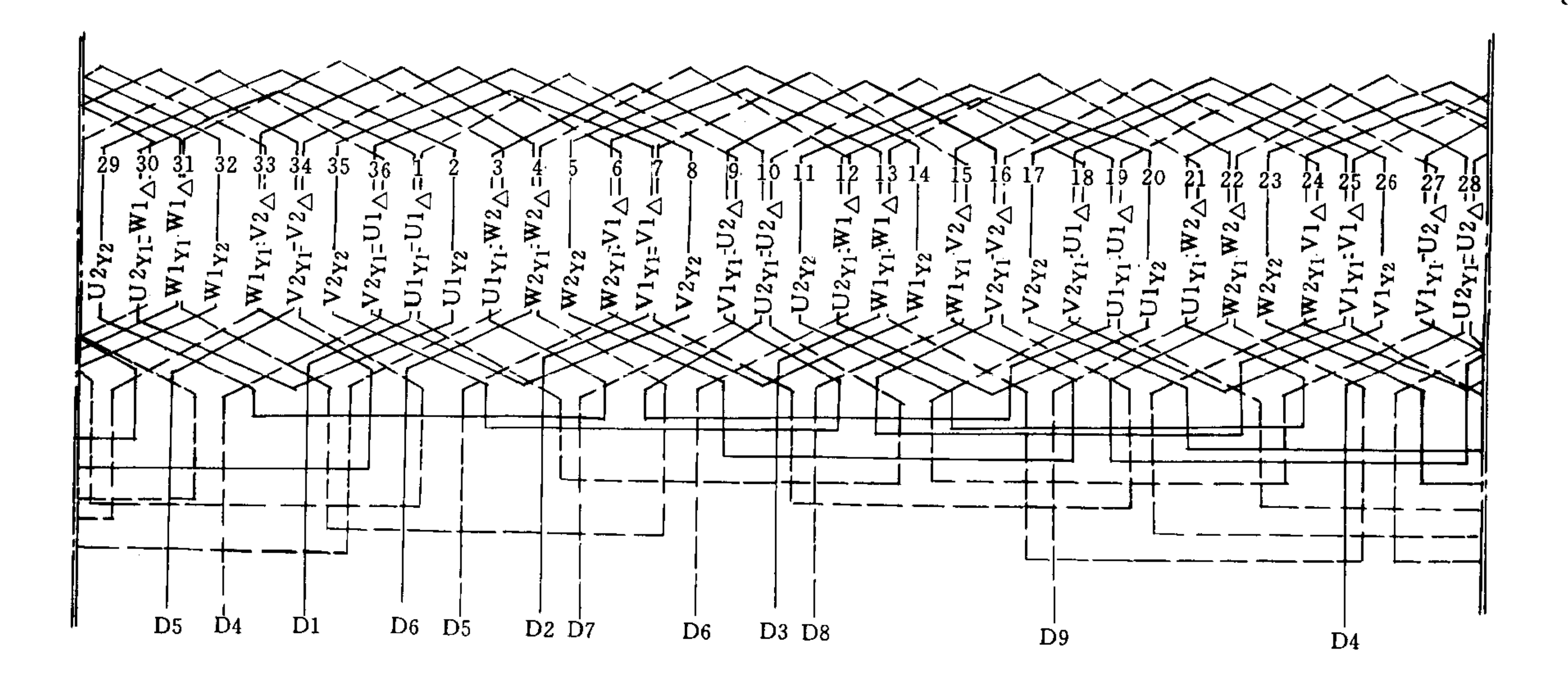


图 3-28 $Q_1=36$、$2p=4$ 正弦绕组平面展开图

（$q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$ 的排列；$a_{\triangle}=a_{Y}=1$）

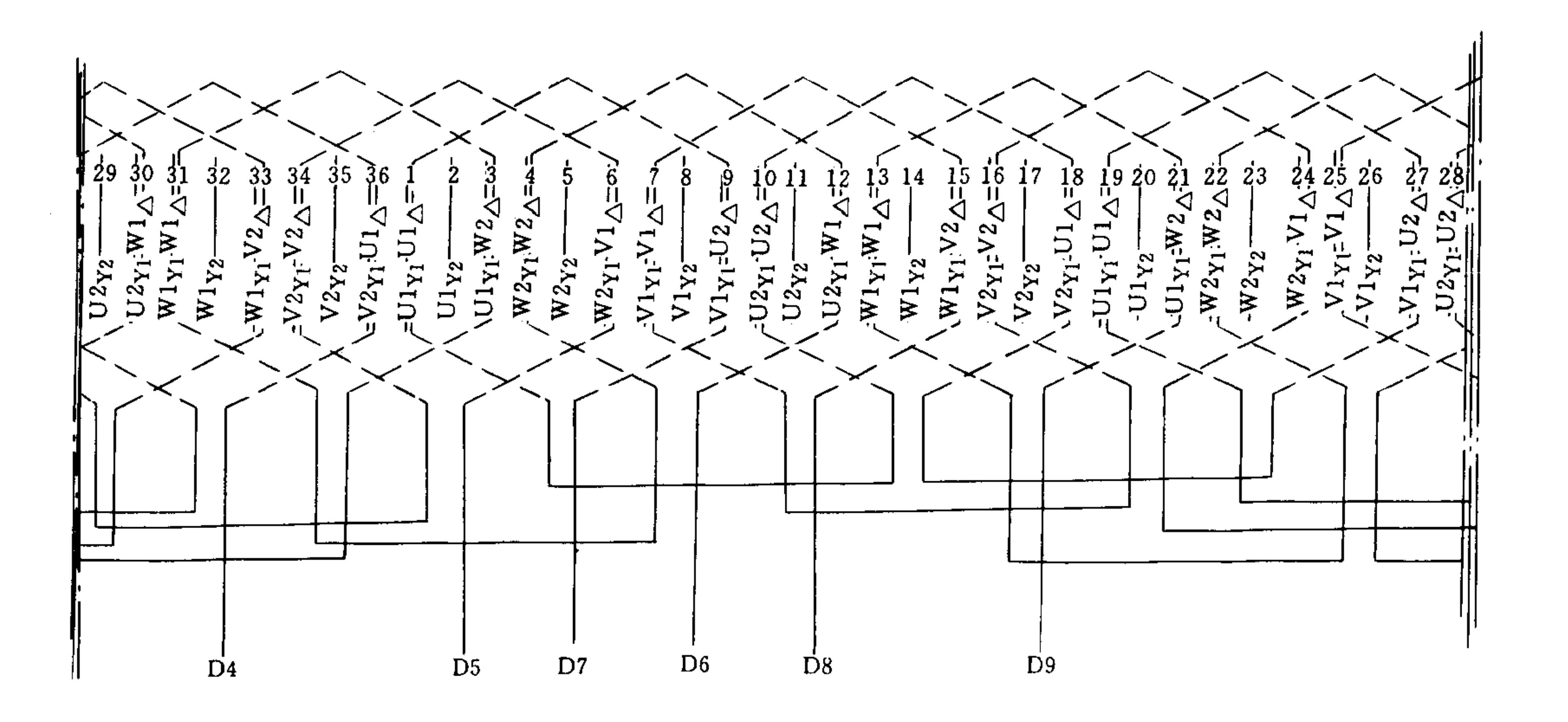


图 3-29 $Q_1=36$、$2p=4$ 正弦绕组三角形部分平面展开图

（$q_\triangle=2$、$q_Y=3$ 的排列；$a_\wedge=1$）

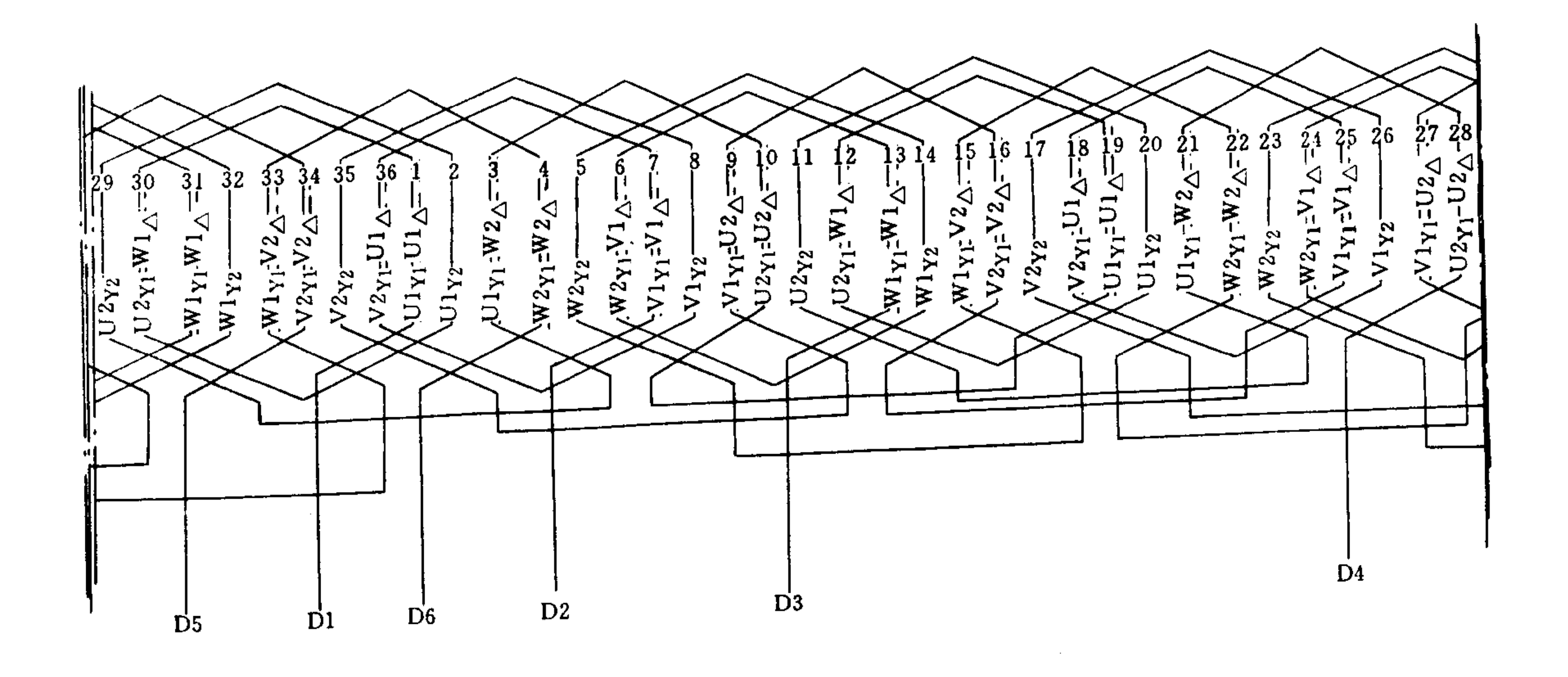


图 3-30　$Q_1=36$、$2p=4$ 正弦绕组星形部分平面展开图

（$q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$ 的排列；$a_{Y}=1$）

第四章　三相绕组改成正弦绕组简易计算

在异步电动机修理中，将原三相绕组改成正弦绕组，其绕组数据可由简易计算公式求得。现以原三相绕组星形联结改成正弦绕组延边三角形联结为例予以说明。

第一节　串联导体截面的确定

原三相绕组星形联结见图 4-1*a*。

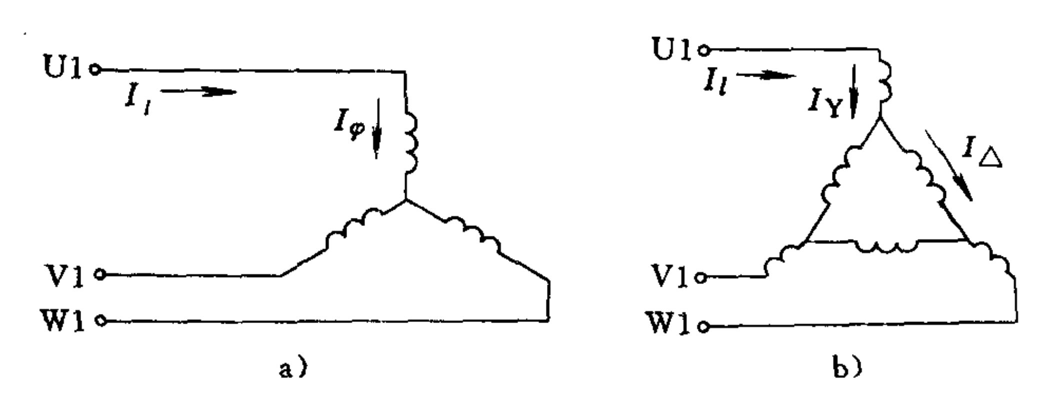


图 4-1　原三相绕组星形联结改成正弦绕组延边三角形联结
a）原三相绕组星形联结　*b*）正弦绕组延边三角形联结

电流　$I_\varphi = I_l$

电流密度　$J = \dfrac{I_\varphi}{A_c}$

式中　I_φ——相电流（A）；

I_l——线电流（A）；

A_c——串联导体截面积（mm^2）。

正弦绕组延边三角形联结见图 4-1b。

星形部分：

电流 $$I_{\mathrm{Y}}=I_{l}=I_{\varphi}$$

电流密度 $$J_{\mathrm{Y}}=\frac{I_{\mathrm{Y}}}{A_{\mathrm{Y}}}=\frac{I_{l}}{A_{\mathrm{Y}}}=\frac{I_{\varphi}}{A_{\mathrm{Y}}}$$

式中 I_{Y}——星形部分相电流（A）；

J_{Y}——星形部分电流密度（A/mm²）；

A_{Y}——星形部分串联导体截面（mm²）。

三角形部分：

电流 $$I_{\triangle}=\frac{1}{\sqrt{3}}I_{\mathrm{Y}}=\frac{1}{\sqrt{3}}I_{l}=\frac{1}{\sqrt{3}}I_{\varphi}$$

电流密度 $$J_{\triangle}=\frac{I_{\triangle}}{A_{\triangle}}=\frac{1}{\sqrt{3}}\frac{I_{\mathrm{Y}}}{A_{\triangle}}=\frac{1}{\sqrt{3}}\frac{I_{l}}{A_{\triangle}}=\frac{1}{\sqrt{3}}\frac{I_{\varphi}}{A_{\triangle}}$$

式中 $I_{\triangle}$——三角形部分相电流（A）；

$J_{\triangle}$——三角形部分电流密度（A/mm²）；

$A_{\triangle}$——三角形部分串联导体截面（mm²）。

为了保持电流密度不变，即

$$J=J_{\mathrm{Y}}=J_{\triangle}$$

所以 $$A_{\mathrm{Y}}=A_{c}$$

$$A_{\triangle}=\frac{1}{\sqrt{3}}A_{\mathrm{Y}}=\frac{1}{\sqrt{3}}A_{c}$$

因此，正弦绕组延边三角形联结星形部分导体截面与原三相绕组星形联结的导体截面相等，而三角形部分导体截面则为原三相绕组星形联结的导体截面的 $1/\sqrt{3}$。

第二节　每相匝数和每槽导体数的确定

一、三角形部分与星形部分线圈匝数的配合

在正弦绕组中，三角形部分每相匝数 $N_{\triangle}$和星形部分每

相匝数 N_Y配合（$N_\triangle/N_Y$）必须得当，才能消除或削弱高次谐波。由正弦绕组构成原理可知，星形部分相电流有效值为三角形部分的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $I_Y=\sqrt{3}I_\triangle$，为了使定子每槽电流总安匝的有效值相同，应使三角形部分每个线圈匝数 $N_{1\triangle}$为星形部分每个线圈匝数 N_{1Y}的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $N_{1\triangle}=\sqrt{3}N_{1Y}$。当 $\dfrac{a_Y\ (\text{星形部分并联支路数})}{a_\triangle\ (\text{三角形部分并联支路数})}=1$ 时，三角形部分与星形部分线圈匝数的配合 $N_{1\triangle}/N_{1Y}=\sqrt{3}$，符合这一关系的匝数有 $N_{1\triangle}/N_{1Y}$：7/4、12/7、14/8、17/10、19/11、21/12、26/15、31/18、33/19、38/22、40/23、45/26、47/27、50/29、52/30、59/34 等等。

由于三角形部分与星形部分线圈个数相等，因此，三角形部分每相匝数 $N_\triangle$应为星形部分每相匝数 N_Y的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $N_\triangle=\sqrt{3}N_Y$。

二、三角形部分与星形部分每相匝数和每槽导体数的确定

1. 电压分配　因为正弦绕组延边三角形连接的三角形部分每相绕组匝数为星形部分的 $\sqrt{3}$ 倍，故三角形部分每相串联导体总长度 $l_\triangle$为星形部分每相串联导体总长度 l_Y的 $\sqrt{3}$ 倍，即

$$l_\triangle=\sqrt{3}l_Y$$

又因为三角形部分串联导体截面 $A_\triangle$为星形部分串联导体截面 A_Y的 $1/\sqrt{3}$，即

$$A_\triangle=\frac{1}{\sqrt{3}}A_Y$$

所以，三角形部分每相电阻 $R_\triangle$ 为星形部分每相电阻 R_Y 的 3 倍，即

$$R_\triangle = \rho \frac{l_\triangle}{A_\triangle} = \rho \frac{\sqrt{3}\, l_Y}{\frac{1}{\sqrt{3}} A_Y} = 3\rho \frac{l_Y}{A_Y} = 3R_Y$$

式中　ρ——电阻系数。

而绕组电抗与绕组匝数平方成正比，所以，三角形部分每相绕组电抗 $X_\triangle$ 也为星形部分每相绕组电抗 X_Y 的 3 倍，即

$$\frac{X_\triangle}{X_Y} = \left(\frac{N_\triangle}{N_Y}\right)^2 = \left(\frac{\sqrt{3}\, N_Y}{N_Y}\right)^2 = 3$$

或
$$X_\triangle = 3X_Y$$

因而，正弦绕组三角形部分每相绕组阻抗 $Z_\triangle$ 为星形部分每相绕组阻抗 Z_Y 的 3 倍，即

$$Z_\triangle = \sqrt{R_\triangle^2 + X_\triangle^2} = \sqrt{(3R_Y)^2 + (3X_Y)^2} =$$
$$3\sqrt{R_Y^2 + X_Y^2} = 3Z_Y$$

现将延边三角形中的三角形部分用等值星形代替，则等值星形每相阻抗 Z'_Y 与正弦绕组中星形部分每相阻抗 Z_Y 相等，即

$$Z'_Y = \frac{Z_\triangle Z_\triangle}{Z_\triangle + Z_\triangle + Z_\triangle} = \frac{Z_\triangle}{3} = Z_Y$$

在等值电路每相绕组中，电压的分配可以近似地认为与阻抗成正比。当外施相电压 U_φ 为 220V 时，则分配在星形部分的相电压 U_Y 为 110V，见图 4-2。

2. 星形部分每相匝数 N_Y 和每槽导体数 z_Y　在原三相绕组星形联结中相电压 $U_\varphi=220\text{V}$，每相串联匝数为 N_φ，为了保持每匝电压不变，则正弦绕组延边三角形联结星形部分由

于相电压 $U_Y=\frac{1}{2}U_\varphi=110\text{V}$，所以，每相串联匝数 $N_Y=\frac{1}{2}N_\varphi$。而在正弦绕组中，每极每相槽数为三相绕组的每极每相槽数的 1/2，即 $q_Y=q_\triangle=\frac{1}{2}q$，所以，每槽导体数保持不变，即

$$z_Y=z_Q$$

式中，z_Q 为原三相绕组每槽导体数。

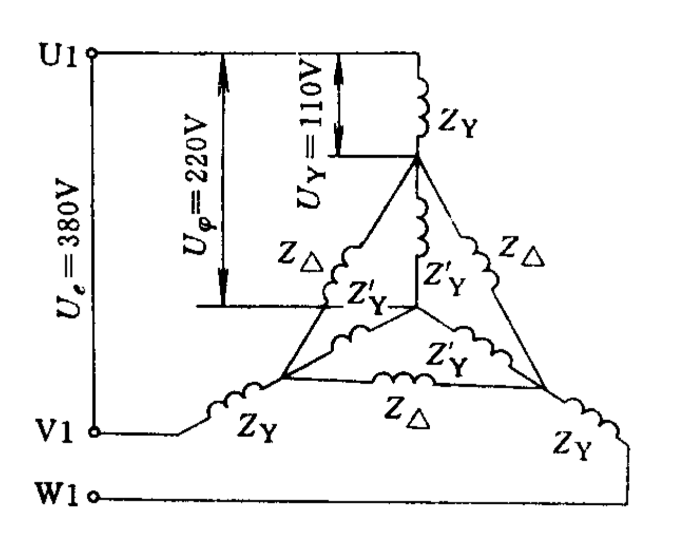


图 4-2　电压分配

3. 三角形部分每相匝数 $N_\triangle$ 和每槽导体数 $z_\triangle$　在正弦绕组中，三角形部分每相匝数 $N_\triangle$ 为星形部分每相匝数 N_Y 的 $\sqrt{3}$ 倍，故三角形部分每槽导体数 $z_\triangle$ 也为星形部分每槽导体数 z_Y 的 $\sqrt{3}$ 倍，即

$$z_\triangle=\sqrt{3}z_Y=\sqrt{3}z_Q$$

采用同样的分析方法，可得三相绕组星形联结改成正弦绕组星形—三角形联结及三相绕组三角形联结改成正弦绕组延边三角形联结或星形—三角形联结的绕组简易计算公式，见表 4-1。

以上计算未考虑正弦绕组的绕组系数已比三相绕组有所提高这一因素。为了使异步电动机修理前后的气隙磁密值保持不变，应使对应于相应电压的绕组其每相有效串联导体数在修理前后也是不变的。在一般情况下，正弦绕组的分布系数比三相绕组提高约 3%；同时，若正弦绕组采用线圈节距 $Y=11\tau_p/12$（正弦绕组的线圈节距主要应考虑削弱11次和

表 4-1

正弦绕组接法 / 每槽导体数和导体截面积 / 原三相绕组接法	正弦绕组⅄△联结		正弦绕组⟁联结	
	星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分
三相绕组Y联结	$z_Y = z_Q$ $A_Y = A_c$	$z_\triangle = \sqrt{3}\, z_Q$ $A_\triangle = \frac{1}{\sqrt{3}} A_c$	$z_Y = 2 z_Q$ $A_Y = \frac{1}{2} A_c$	$z_\triangle = 2\sqrt{3}\, z_Q$ $A_\triangle = \frac{1}{2\sqrt{3}} A_c$
三相绕组△联结	$z_Y = \frac{1}{\sqrt{3}} z_Q$ $A_Y = \sqrt{3}\, A_c$	$z_\triangle = z_Q$ $A_\triangle = A_c$	$z_Y = \frac{2}{\sqrt{3}} z_Q$ $A_Y = \frac{\sqrt{3}}{2} A_c$	$z_\triangle = 2 z_Q$ $A_\triangle = \frac{1}{2} A_c$

13 次谐波，同时又要使基波有尽可能高的短距系数，通常应取 $Y=11\tau_p/12$，τ_p 为极距)，而原三相绕组 $Y=5\tau_p/6$，则前者短距系数比后者提高约 2.5%。于是，正弦绕组的绕组系数比三相绕组提高约 3%（对单层绕组和双层整距绕组）或 6%（对双层短距绕组)。考虑到正弦绕组的绕组系数较原三相绕组有所提高，由上表简易公式算得的每槽导体数 z_Y 和 $z_\triangle$ 应乘上 0.97（对单层绕组和双层整距绕组）或 0.94（对双层短距绕组)。由于每槽导体数减少，考虑到保持槽满率不变，可适当增大正弦绕组的导体截面积。由上表简易公式算得的导体截面积 A_Y 和 $A_\triangle$ 应乘上 1/0.97 倍（对单层绕组和双层整距绕组）或 1/0.94 倍（对双层短距绕组)。这一修正使所修理的异步电动机在保持铁耗不变的情况下，降低了定子绕组铜耗。鉴于小型（2、4 极）电动机定子铜耗占全部损耗的比重较大，且旧电动机磁路一般饱和程度不高，因此，对原

（齿、轭中）磁通密度不高的电动机，还可使线圈匝数略微减少一些，在保持槽满率不变的情况下，导体截面还可略微增大一些，以进一步降低其定子铜耗，因而使电动机性能进一步得到改善，节能效果更好。

第三节 单双层混合排列绕组计算

当三相绕组每极每相槽数 q 为奇数时，为了改善电动机的运行性能，充分发挥正弦绕组的优越性，可采用单双层混合排列方法。例如，三相绕组每极每相槽数 $q=3$ 时，可取三角形部分绕组每极每相槽数 $q_{\triangle}=2$，星形部分绕组每极每相槽数 $q_{Y}=3$，其绕组排列见图 4-3。

为了使槽电流沿圆周呈正弦分布，首先必须确定星形部分和三角形部分每个线圈的匝数比。对于这种排列方法，可以让星形部分 $q_{Y}=3$ 的 3 个线圈的匝数分别为 N_{Y1}、N_{Y2}、N_{Y1}，而三角形部分 $q_{\triangle}=2$ 的线圈匝数都为 $N_{\triangle}$。

根据绕组排列及槽电流沿圆周按正弦分布时的每槽电流的相对值（图 4-3），可以列出每槽电流（瞬时值）的方程：

对于第 1 槽　$0.5N_{Y1}=0.1736N_{Y2}$

对于第 2 槽　$0.5N_{Y2}=0.5N_{Y2}$

对于第 3 槽　$\dfrac{0.866}{\sqrt{3}}N_{\triangle}+0.5N_{Y1}=0.766N_{Y2}$

对于第 4 槽　$\dfrac{0.866}{\sqrt{3}}N_{\triangle}+N_{Y1}=0.9397N_{Y2}$

对于第 5 槽　$N_{Y2}=N_{Y2}$

对于第 6 槽　$\dfrac{0.866}{\sqrt{3}}N_{\triangle}+N_{Y1}=0.9397N_{Y2}$

对于第 7 槽　$\dfrac{0.866}{\sqrt{3}}N_{\triangle}+0.5N_{Y1}=0.766N_{Y2}$

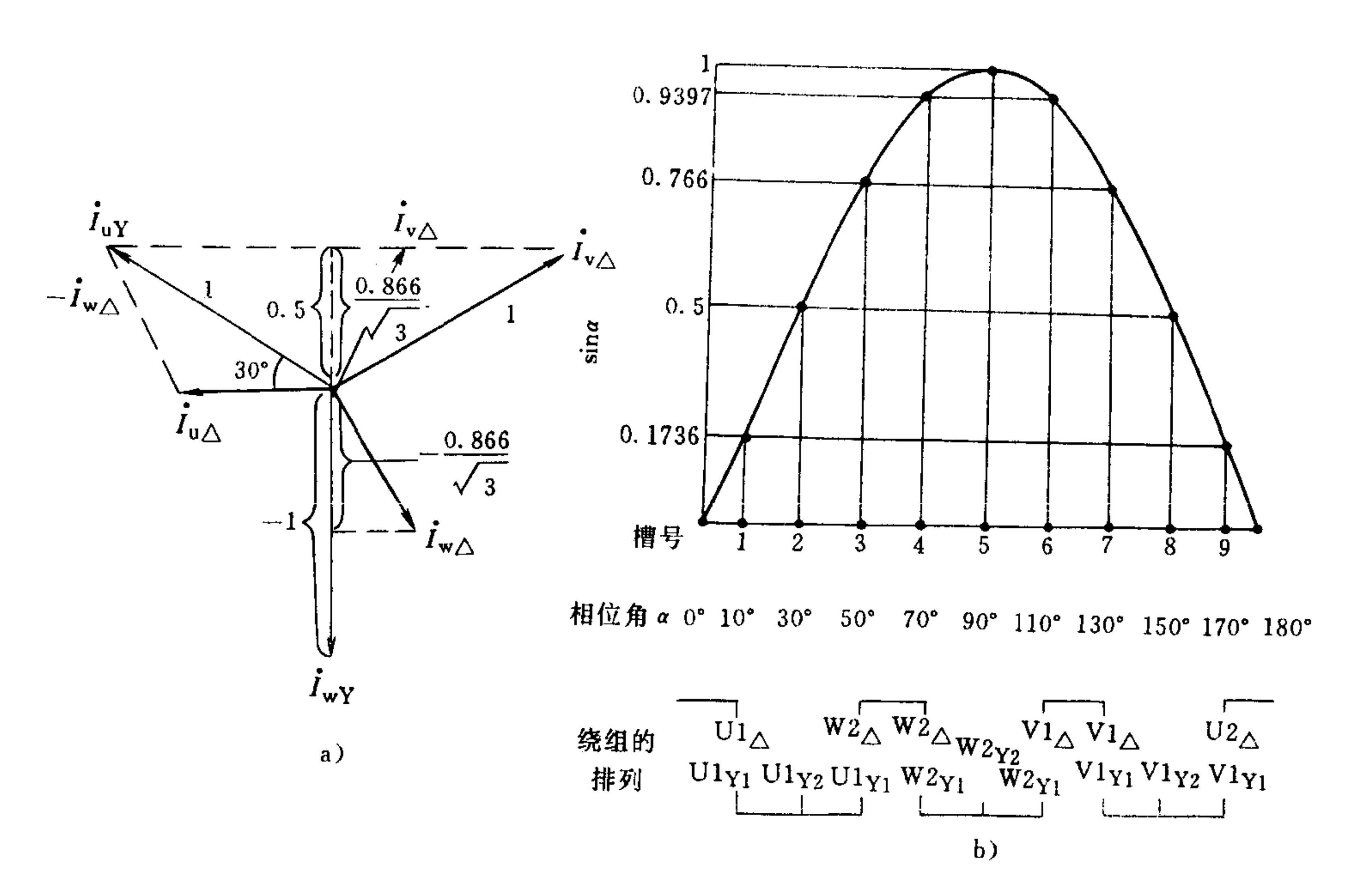


图 4-3 $q=3$，按 $q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$ 分布的正弦绕组的排列及槽电流分布

a）电流相量图 b）每槽电流瞬时值

对于第 8 槽　　$0.5N_{Y2}=0.5N_{Y2}$

对于第 9 槽　　$0.5N_{Y1}=0.1736N_{Y2}$

由于所列的联立方程组，独立方程数有 3 个，可解出 3 个未知数为 $N_{Y2}=1$、$N_{Y1}=0.3472$、$N_{\triangle}=1.1848$，即它们的匝数比为 $N_{Y2}:N_{Y1}:N_{\triangle}=1:0.3472:1.1848$。

在电动机修理中，只要确定 N_{Y2}，便可算得 N_{Y1}和 $N_{\triangle}$。而 N_{Y2}的确定仍按正弦绕组简易计算公式求得。导线线规的确定也按正弦绕组简易计算公式求得。

值得指出的是，按照正弦绕组的构成原理，正弦绕组中星形部分和三角形部分绕组每个线圈的匝数之间应有严格的比例关系。但当具体确定一台三相异步电动机绕组匝数时，很难满足上述要求。实际上，在确定绕组每个线圈的匝数时，能够近似地满足原理中所要求的匝数比例，便可使所修理的电动机性能有所改善，匝数比越接近所要求的比值，电动机性能越好。因此，在修理中不必为找不到正弦绕组构成原理中所要求的严格的匝数比而担忧。

第五章　三相绕组改制成正弦绕组实例

在三相异步电动机修理中，将原三相绕组改制成正弦绕组，需要有原三相绕组的有关技术数据，才能按照正弦绕组构成原则进行正弦绕组排列，再由简易计算公式求得正弦绕组数据。

第一节　有铭牌电动机三相绕组改制成正弦绕组

对有铭牌电动机，只需根据铭牌上电动机型号，便可在三相异步电动机技术数据表中查出所需数据。如果待修电动机绕组没有拆掉，也可通过实测求取所需数据。现举例说明将有铭牌电动机的三相绕组改制成正弦绕组的方法和步骤。

例 1　试将一台 Y—801—2 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=18$
每槽导体数	$z_Q=111$
导线线规	$1—\phi0.63$mm
绕组形式	单层交叉式绕组
接法	Y
并联支路数	$a=1$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=$

$\frac{Q_1}{2pm}=\frac{18}{2\times 3}=3$ 为奇数，正弦绕组采用单双层混合排列，即取 $q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$。三角形部分绕组置于定子槽的一层，采用单层链式绕组，星形部分绕组置于定子槽的另一层，采用单层交叉链式绕组。其绕组排列见图 4-3。绕组平面展开图见图 5-1。再将正弦绕组三角形部分与星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 3-12。

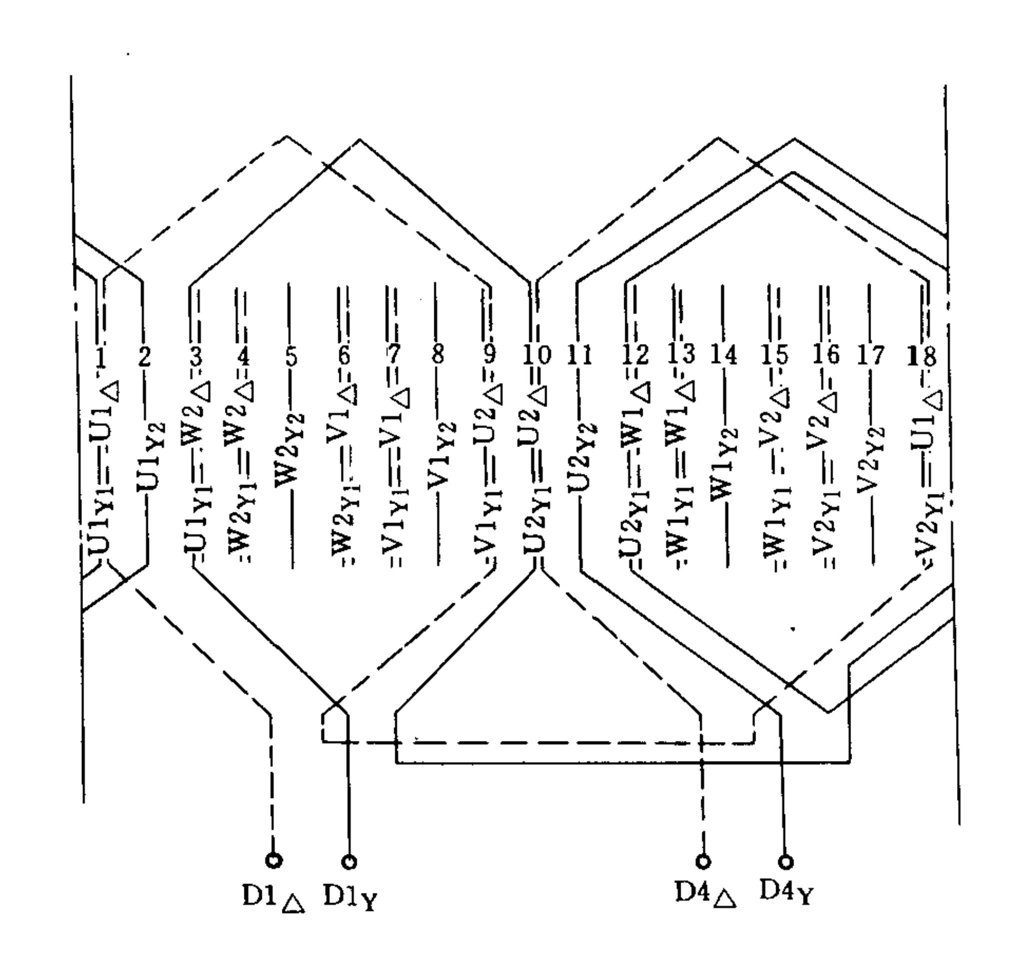


图 5-1　$Q_1=18$、$2p=2$ 正弦绕组中三角形与星形部分 U 相绕组平面展开图（$a_{\triangle}=a_{Y}=1$）

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　正弦绕组采用单双层混合排列，$q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$。星形部分 3 个线圈的匝数分别为 N_{Y1}、N_{Y2}、N_{Y1}，而三角形部分两个线圈的匝数都为 $N_{\triangle}$。

当 $q=3$ 时，正弦绕组按 $q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$ 单双层混合排列的匝数比为

$$N_{Y2} : N_{Y1} : N_{\triangle} = 1 : 0.3472 : 1.1848$$

首先需确定 N_{Y2}。

原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，每槽导体数 $z_Q=111$。现在正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。根据正弦绕组简易计算公式可得

$$z_{Y2} = 0.97z_Q = 0.97 \times 111 = 107.7$$

取 $$z_{Y2}=108$$

因为三角形部分和星形部分绕组均为单层绕组，每线圈匝数等于每槽导体数，所以

$$N_{Y2} = z_{Y2} = 108$$

而 $$N_{Y1}=0.3472N_{Y2}=0.3472\times108=37.5$$

取 $$N_{Y1}=38$$

$$N_{\triangle} = 1.1848N_{Y2} = 1.1848 \times 108 = 128$$

(2) 导线线规　原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，导线线规为 1—ϕ0.63mm，其截面积为 $A_c=0.3117$ mm^2。现在正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。根据正弦绕组简易计算公式可得

星形部分导线截面积　$A_{Y}=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times0.3117$ mm^2 $=0.3213$ mm^2。

选用线规　1—ϕ0.64mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times0.3117\text{mm}^2=0.1855\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.49mm。

例 2　试将一台 Y—100L—2 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=24$
每槽导体数	$z_Q=40$
导线线规	1—ϕ1.18mm
绕组形式	单层同心式绕组
接法	Y
并联支路数	$a=1$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{24}{2\times 3}=4$ 为偶数，正弦绕组分别按三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_\triangle=q_Y=\frac{q}{2}=\frac{4}{2}=2$ 来进行排列。三角形部分和星形部分绕组都采用单层同心式绕组（图 5-2a），也可都采用单层链式绕组（图 5-2b）。再将三角形部分与星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 3-12，或星形—三角形，见图 3-13。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，每槽导体数为 $z_Q=40$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.97z_Q=0.97\times 40=38.8$，取 $z_Y=39$。

三角形部分每槽导体数 $z_\triangle=0.97\times\sqrt{3}\,z_Q=0.97\times$

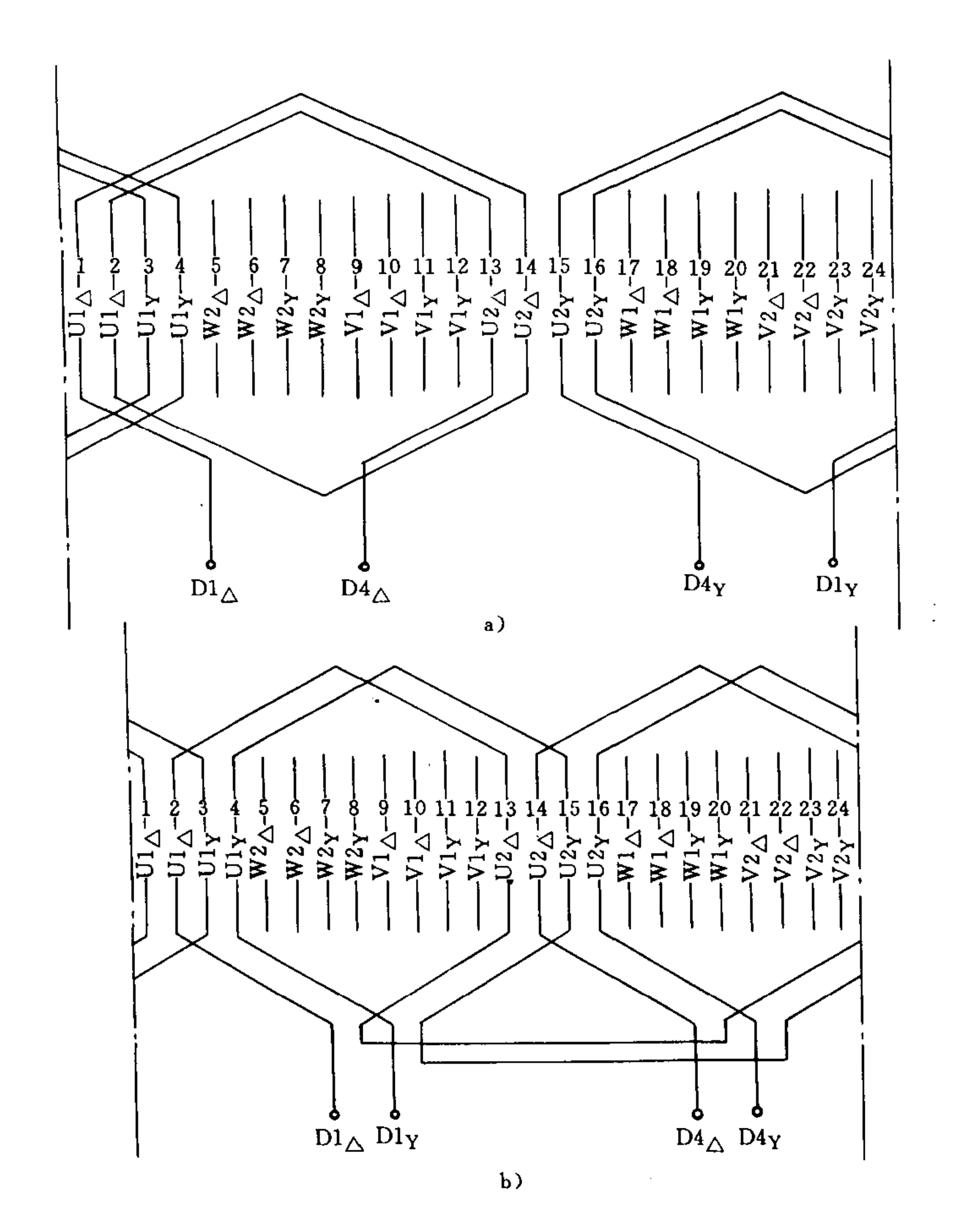


图 5-2 $Q_1=24$、$2p=2$ 正弦绕组中三角形与星形部分 U 相绕组平面展开图（$a_{\triangle}=a_{Y}=1$）

a）单层同心式绕组 b）单层链式绕组

$\sqrt{3}\times40=67.2$，取 $z_{\triangle}=67$。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_{Y}=0.97\times 2z_{Q}=0.97\times 2\times 40=77.6$，取 $z_{Y}=78$。

三角形部分每槽导体数 $z_{\triangle}=0.97\times 2\sqrt{3}z_{Q}=0.97\times 2\sqrt{3}\times 40=134.4$，取 $z_{\triangle}=134$。

因为单层绕组每线圈匝数即为每槽导体数，所以正弦绕组为延边三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=39$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=67$。

正弦绕组为星形—三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=78$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=134$。

（2）导线线规　原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，导线线规为 1—ϕ1.18mm，其截面积为 $A_{c}=1.093\text{mm}^2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分导线截面积　$A_{Y}=\dfrac{1}{0.97}A_{C}=\dfrac{1}{0.97}\times 1.093\text{mm}^2=1.127\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.20mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\dfrac{1}{0.97}\times\dfrac{1}{\sqrt{3}}A_{c}=\dfrac{1}{0.97}\times\dfrac{1}{\sqrt{3}}\times 1.093\text{mm}^2=0.651\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.90mm。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为$a_{\triangle}=a_{Y}=$

$a=1$。

星形部分导线截面积 $A_Y=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}\times 1.093\text{mm}^2=0.563\text{mm}^2$。

选用线规 1—ϕ0.85mm。

三角形部分导线截面积 $A_\triangle=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2\sqrt{3}}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2\sqrt{3}}\times 1.093\text{mm}^2=0.325\text{mm}^2$。

选用线规 1—ϕ0.64mm。

例 3 试将一台 Y—112M—2 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=30$
每槽导体数	$z_Q=48$
导线线规	1—ϕ1.06mm
绕组形式	单层同心式绕组
接法	△
并联支路数	$a=1$

解

1. 正弦绕组排列和联结 原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{30}{2\times 3}=5$ 为奇数，正弦绕组采用单双层混合排列，即取 $q_\triangle=4$、$q_Y=5$。其绕组排列和电动势星形图见图 5-3。这样排列的绕组，三角形部分与相应的星形部分相带之间仍有 30°空间电角的相位差，因而，它们中的感应电动势也有 30°的时间相位差。三角形部分绕组采用单层同心式绕组，置于定子槽的一层；星形部分绕组也采用单层同心式绕组，置于定子

槽的另一层。其绕组平面展开图见图 5-4。再将正弦绕组三角形部分与星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 3-12。

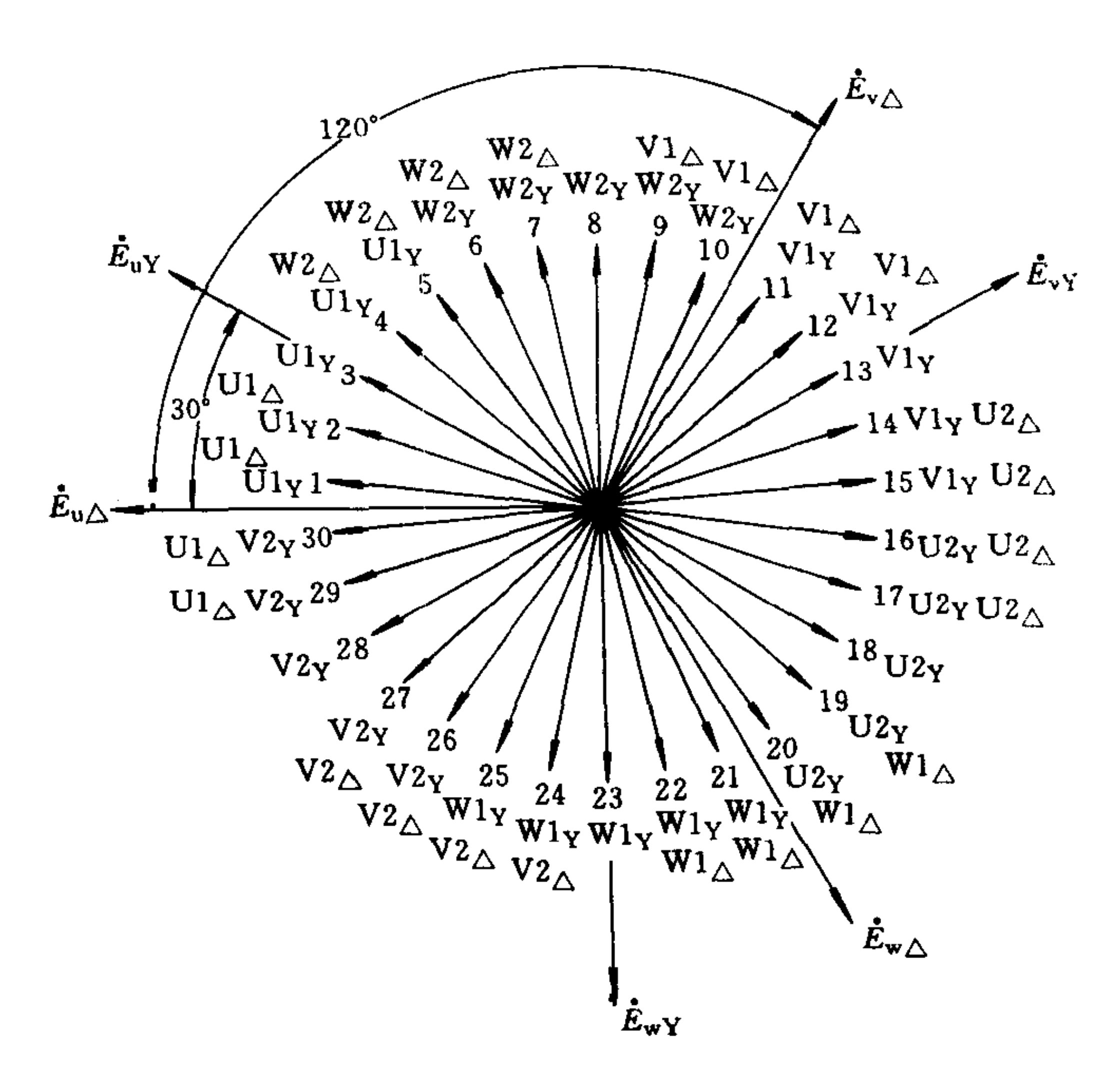


图 5-3　$Q_1=30$、$2p=2$ 电动势星形图及正弦绕组的排列

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　正弦绕组采用单双层混合排列，$q_\triangle=4$、$q_Y=5$。星形部分 5 个线圈的匝数分别为 N_{Y1}、N_{Y2}、N_{Y3}、N_{Y2}、N_{Y1}；三角形部分 4 个线圈的匝数分别为 $N_{\triangle1}$、$N_{\triangle2}$、$N_{\triangle2}$ $N_{\triangle1}$。这些匝数之间的比例关系都可以按每槽电流（瞬时值）沿圆周按正弦分布的原则建立方程而解出。

根据绕组排列及槽电流沿圆周按正弦分布时的每槽电流的相对值（图 5-5），可以列出每槽电流（瞬时值）的方程：

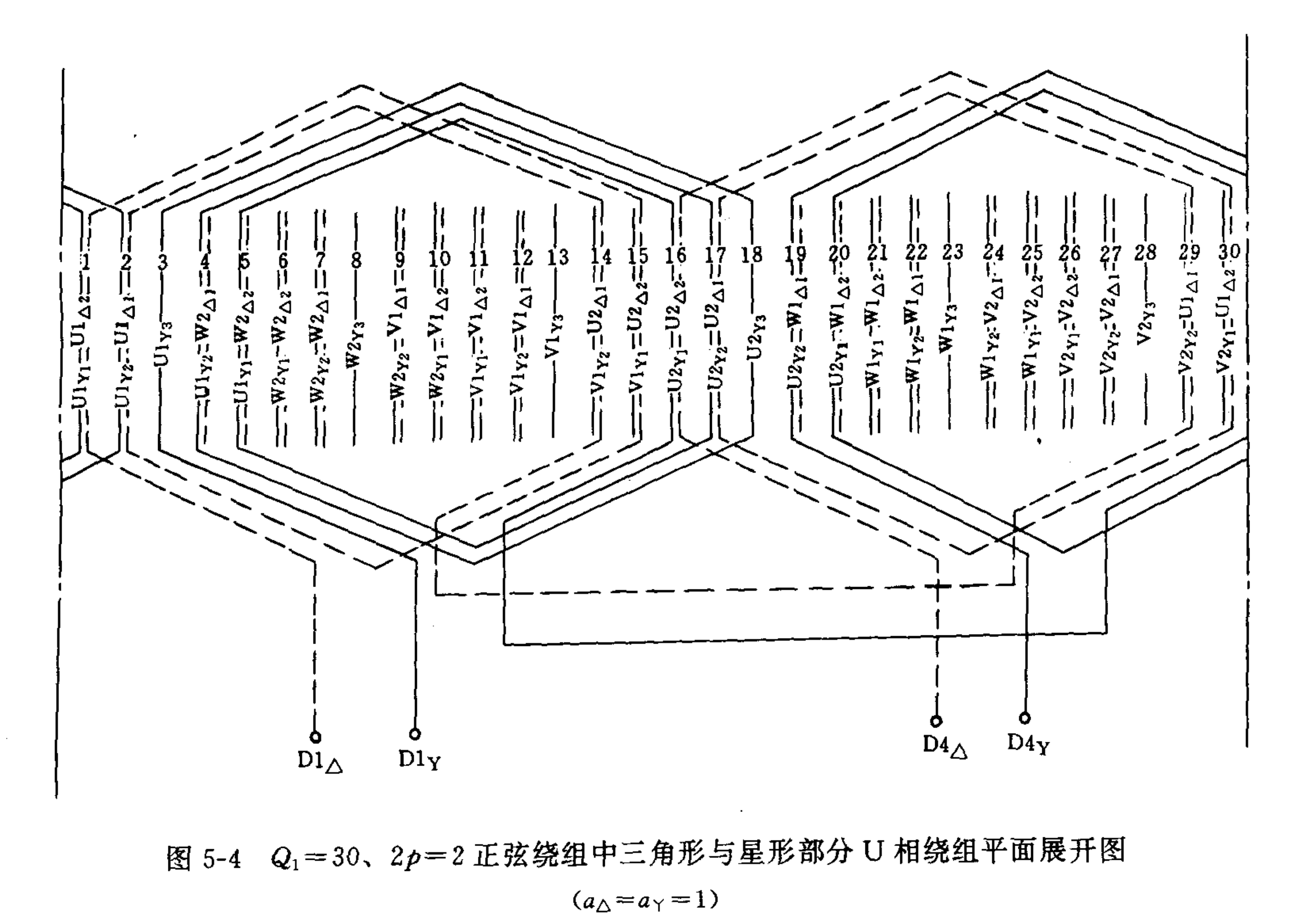


图 5-4　$Q_1=30$、$2p=2$ 正弦绕组中三角形与星形部分 U 相绕组平面展开图

($a_{\triangle}=a_{Y}=1$)

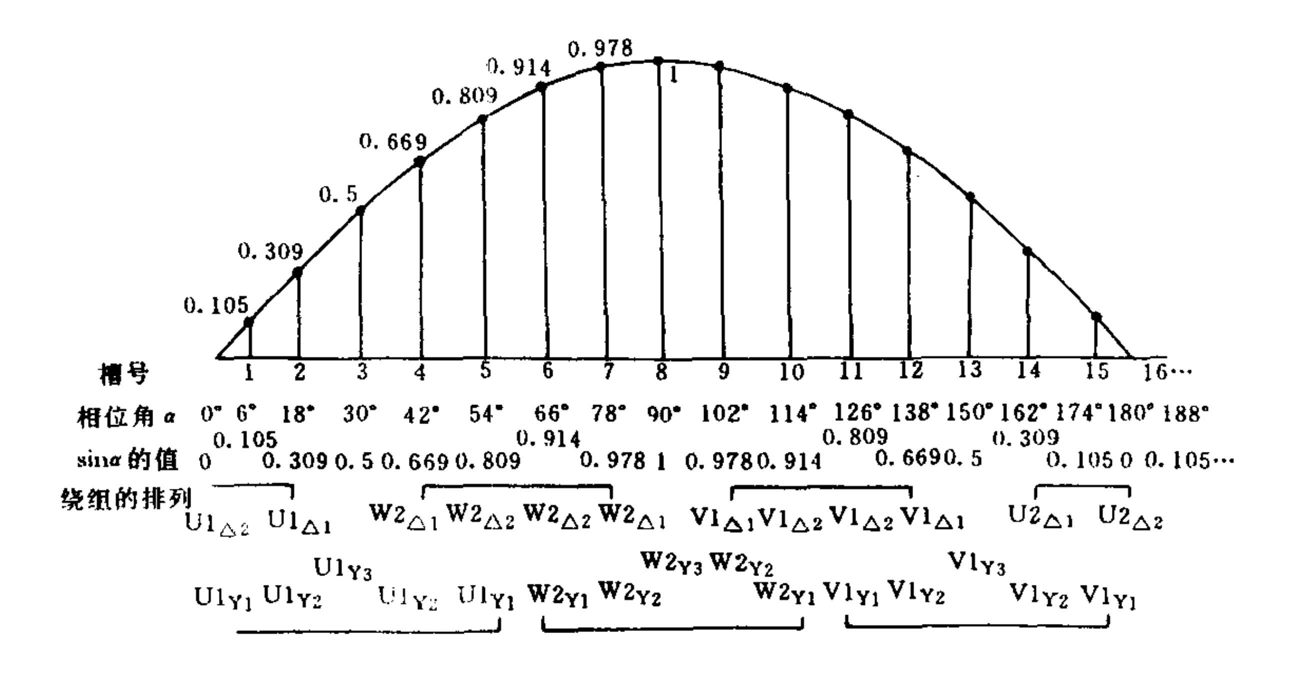


图 5-5　$q=5$（$q_{\triangle}=4$、$q_{Y}=5$）正弦绕组的排列及槽电流分布

对于第 1 槽　$0.5N_{Y1}=0.1045N_{Y3}$

对于第 2 槽　$0.5N_{Y2}=0.309N_{Y3}$

对于第 3 槽　$0.5N_{Y3}=0.5N_{Y3}$

对于第 4 槽　$\dfrac{0.866}{\sqrt{3}}N_{\triangle 1}+0.5N_{Y2}=0.6691N_{Y3}$

对于第 5 槽　$\dfrac{0.866}{\sqrt{3}}N_{\triangle 2}+0.5N_{Y1}=0.809N_{Y3}$

对于第 6 槽　$\dfrac{0.866}{\sqrt{3}}N_{\triangle 2}+N_{Y1}=0.9135N_{Y3}$

对于第 7 槽　$\dfrac{0.866}{\sqrt{3}}N_{\triangle 1}+N_{Y2}=0.9781N_{Y3}$

对于第 8 槽　$N_{Y3}=N_{Y3}$

对于第 9 槽　$\dfrac{0.866}{\sqrt{3}}N_{\triangle 1}+N_{Y2}=0.9781N_{Y3}$

对于第 10 槽　$\dfrac{0.866}{\sqrt{3}}N_{\triangle 2}+N_{Y1}=0.9135N_{Y3}$

对于第 11 槽　$\frac{0.866}{\sqrt{3}}N_{\triangle 2}+0.5N_{Y1}=0.809N_{Y3}$

对于第 12 槽　$\frac{0.866}{\sqrt{3}}N_{\triangle 1}+0.5N_{Y2}=0.6691N_{Y3}$

对于第 13 槽　$0.5N_{Y3}=0.5N_{Y3}$

对于第 14 槽　$0.5N_{Y2}=0.309N_{Y3}$

对于第 15 槽　$0.5N_{Y1}=0.1045N_{Y3}$

由于联立方程组中独立方程数有 5 个，恰能解出 5 个未知数 N_{Y3}、N_{Y2}、N_{Y1}、$N_{\triangle 2}$和 $N_{\triangle 1}$，它们的匝数比为：

$$N_{Y3} : N_{Y2} : N_{Y1} : N_{\triangle 2} : N_{\triangle 1} =$$

$$1 : 0.618 : 0.209 : 1.409 : 0.7202$$

在电机修理中，只要确定 N_{Y3}，便可算出 N_{Y2}、N_{Y1}、$N_{\triangle 2}$和 $N_{\triangle 1}$。首先需要确定 N_{Y3}。

原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=1$，每槽导体数 $z_Q=48$，现在正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_Y=a=1$。根据正弦绕组简易计算公式可得：

$$z_{Y3} = 0.97 \times \frac{1}{\sqrt{3}}z_Q = 0.97 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times 48 = 26.9$$

取
$$z_{Y3}=27$$

因为三角形部分和星形部分绕组均为单层绕组，每线圈匝数等于每槽导体数，所以

$$N_{Y3} = z_{Y3} = 27$$

而
$$N_{Y2}=0.618N_{Y3}=0.618\times 27=16.7$$

取
$$N_{Y2}=17$$

$$N_{Y1} = 0.209N_{Y3} = 0.209 \times 27 = 5.6$$

取
$$N_{Y1}=6$$

$$N_{\triangle 2} = 1.409N_{Y3} = 1.409 \times 27 = 38$$

$$N_{\triangle 1} = 0.7202N_{Y3} = 0.7202 \times 27 = 19.4$$

取 $N_{\triangle 1}=19$

（2）导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=1$，导线线规为 1—ϕ1.06mm，其截面积为 $A_c=0.8824\text{mm}^2$。现在正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$。根据正弦绕组简易计算公式可得：

星形部分导线截面积 $A_Y=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}\times0.882\text{mm}^2=1.576\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.40mm。

三角形部分导线截面积 $A_\triangle=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times0.882\text{mm}^2=0.910\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.08mm。

例 4　试将一台 Y—180M—2 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=36$
每槽导体数	$z_Q=16$
导线线规	2—ϕ1.30mm，2—ϕ1.40mm
绕组形式	双层叠绕组
接法	△
并联支路数	$a=1$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{36}{2\times3}=6$ 为偶数，正弦绕组分别按三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_\triangle=q_Y=\frac{q}{2}=\frac{6}{2}=3$ 来进行排列。三角形

部分和星形部分绕组都采用双层叠绕组。其绕组排列和联结见图 5-6 和图 5-7。再将三角形部分与星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 3-12，或星形—三角形，见图 3-13。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=1$，每槽导体数为 $z_Q=16$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times16=8.7$，取 $z_Y=10$。

三角形部分每槽导体数 $z_\triangle=0.94z_Q=0.94\times16=15$，取 $z_\triangle=16$。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.94\times\frac{2}{\sqrt{3}}z_Q=0.94\times\frac{2}{\sqrt{3}}\times16=17.4$，取 $z_Y=18$。

三角形部分每槽导体数 $z_\triangle=0.94\times2z_Q=0.94\times2\times16=30.1$，取 $z_\triangle=30$。

因为双层绕组每线圈匝数为每槽导体数的一半，所以，正弦绕组为延边三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=5$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=8$。

正弦绕组为星形—三角形联结时：

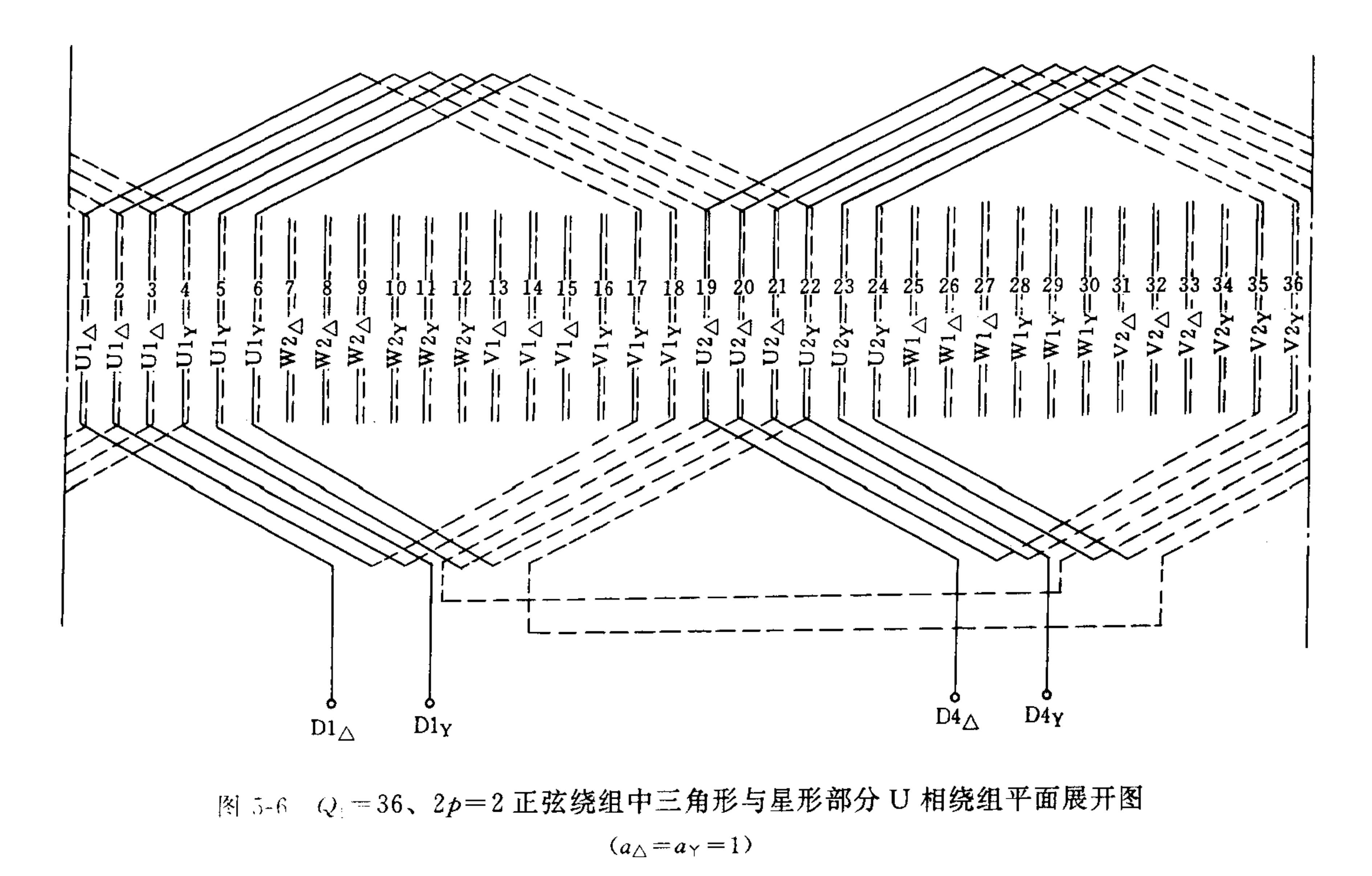


图5-6　$Q_1=36$、$2p=2$ 正弦绕组中三角形与星形部分U相绕组平面展开图

$(a_{\triangle}=a_{Y}=1)$

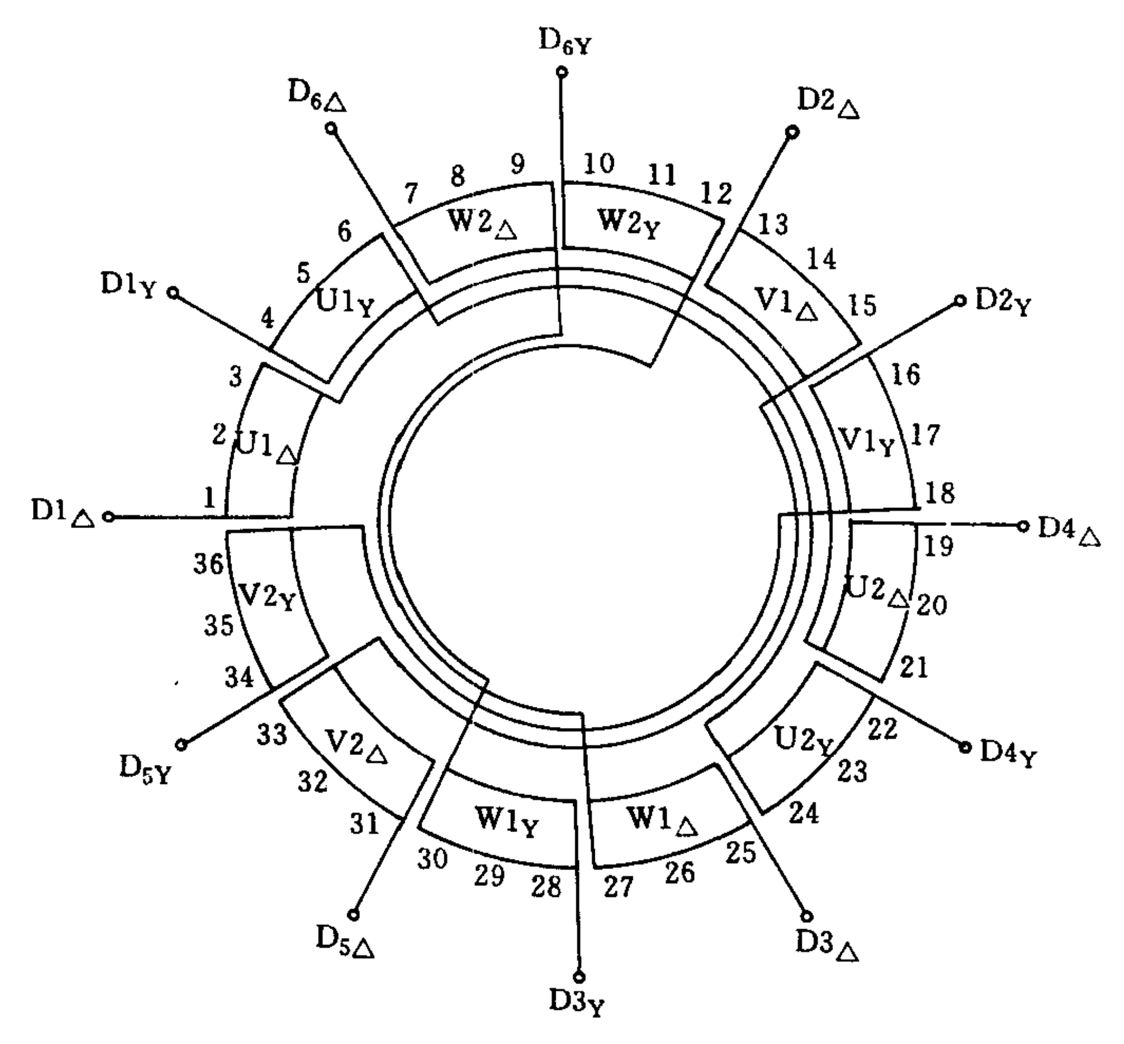


图 5-7 $Q_1=36$、$2p=2$ 正弦绕组接线图

($a_\triangle=a_Y=1$)

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=9$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=15$。

(2) 导线线规 原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=1$，导线线规为 2—ϕ1.30mm、2—ϕ1.40mm，其截面积为 $A_c=5.732\text{mm}^2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$。

星形部分导线截面积 $A_Y=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}\times5.732\text{mm}^2=10.5615\text{mm}^2$。

选用线规　6—ϕ1.40mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.94}A_c=\frac{1}{0.94}\times5.732$ $mm^2=6.098mm^2$。

选用线规　2—ϕ1.30mm、2—ϕ1.40mm。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为$a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分导线截面积　$A_{Y}=\frac{1}{0.94}\times\frac{\sqrt{3}}{2}A_c=\frac{1}{0.94}\times\frac{\sqrt{3}}{2}\times5.732mm^2=5.281mm^2$。

选用线规　1—ϕ1.20mm、3—ϕ1.30mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2}A_c=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2}\times5.732mm^2=3.0489mm^2$。

选用线规　1—ϕ1.12mm、2—ϕ1.16mm。

(3) 线圈节距

$$Y=\frac{11}{12}\tau_p=\frac{11}{12}\times18=16.5$$

取　　$Y=16$

式中　$\tau_p=\frac{Q_1}{2p}=\frac{36}{2}=18$

例 5　试将一台 Y—200L1—2 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=36$
每槽导体数	$z_Q=28$
导线线规	2—ϕ1.12mm、2—ϕ1.18mm
绕组形式	双层叠绕组

接法 △

并联支路数 $a=2$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{36}{2\times3}=6$ 为偶数，正弦绕组分别按三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_{\triangle}=q_{Y}=\frac{q}{2}=\frac{6}{2}=3$ 来进行排列。三角形部分和星形部分都采用双层叠绕组。其绕组排列和连接见图 5-8 和图 5-9。再将三角形部分与星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 5-10，或星形—三角形，见图 5-11。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$，每槽导体数 $z_Q=28$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=2$。

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times28=15.2$，取 $z_Y=16$。

三角形部分每槽导体数 $z_{\triangle}=0.94z_Q=0.94\times28=26.3$，取 $z_{\triangle}=26$。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=2$。

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.94\times\frac{2}{\sqrt{3}}z_Q=0.94\times\frac{2}{\sqrt{3}}\times28=30.4$，取 $z_Y=30$。

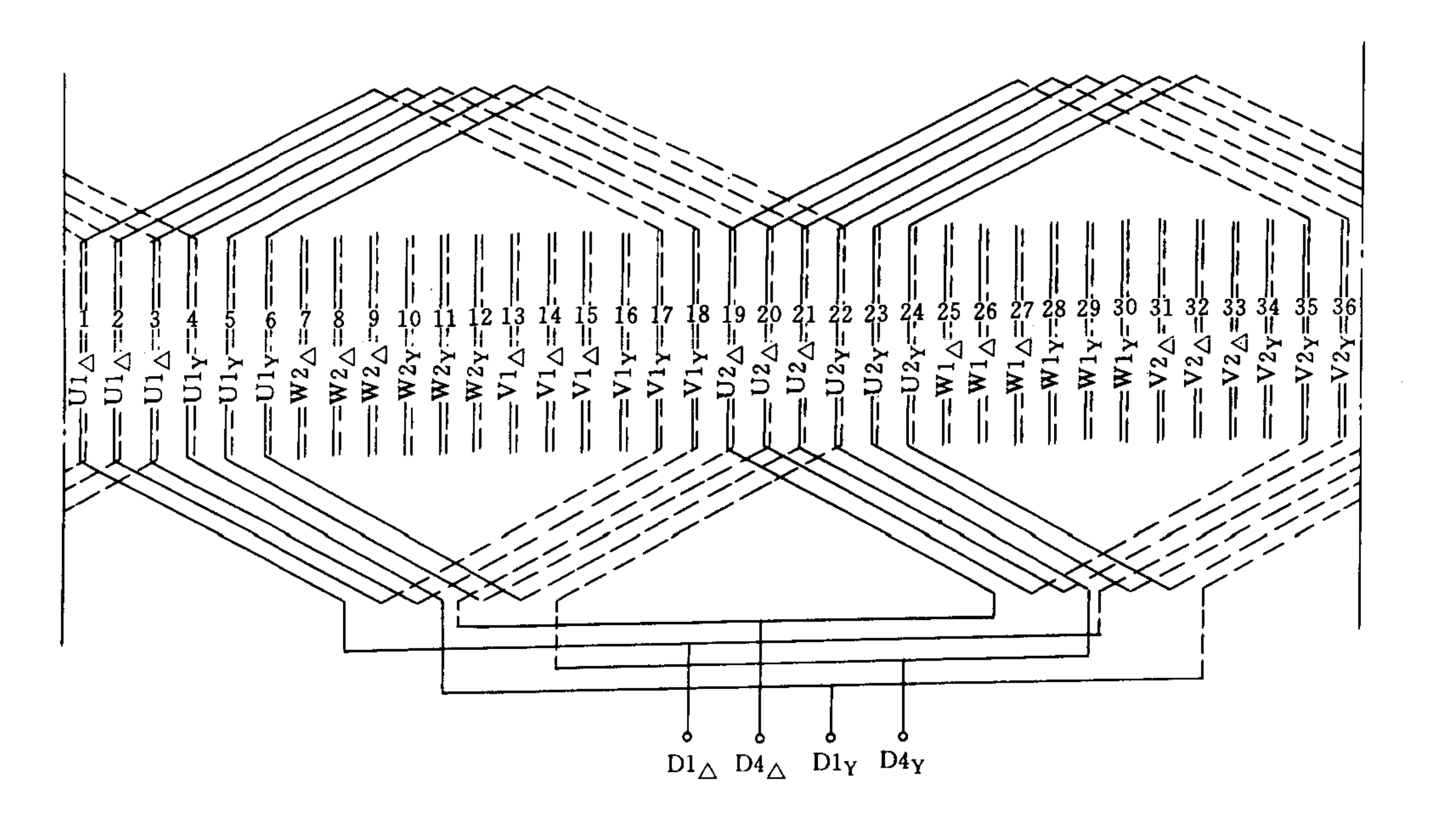


图 5-8 $Q_1=36$、$2p=2$ 正弦绕组中三角形与星形部分 U 相绕组平面展开图

($a_\triangle=a_Y=2$)

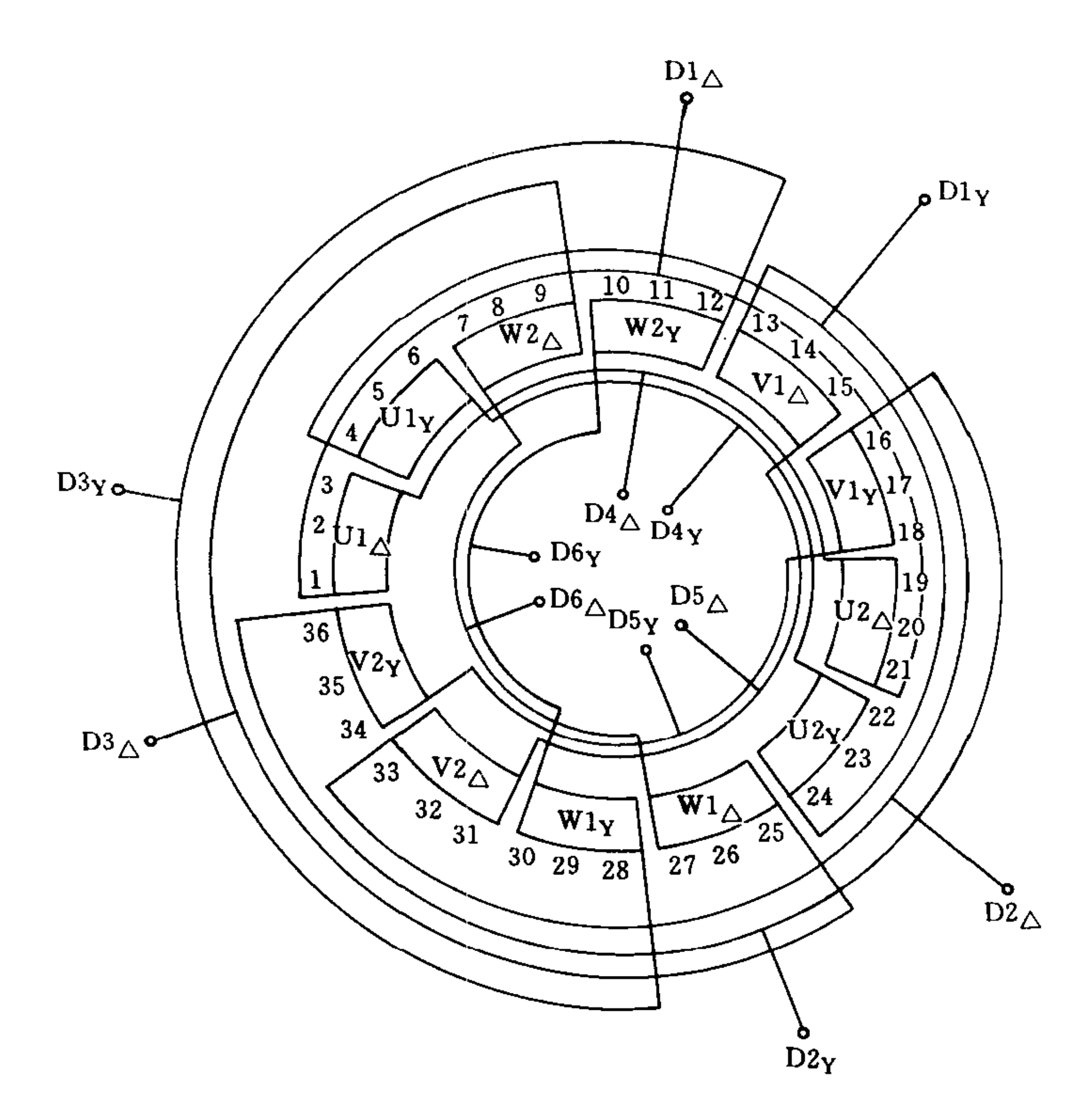


图 5-9　$Q_1=36$、$2p=2$ 正弦绕组接线图

$(a_{\triangle}=a_{Y}=2)$

三角形部分每槽导体数 $z_{\triangle}=0.94\times 2z_Q=0.94\times 2\times 28=52.6$，取 $z_{\triangle}=52$。

因为双层绕组每线圈匝数为每槽导体数的一半，所以正弦绕组为延边三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=8$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=13$。

正弦绕组为星形—三角形联结时：

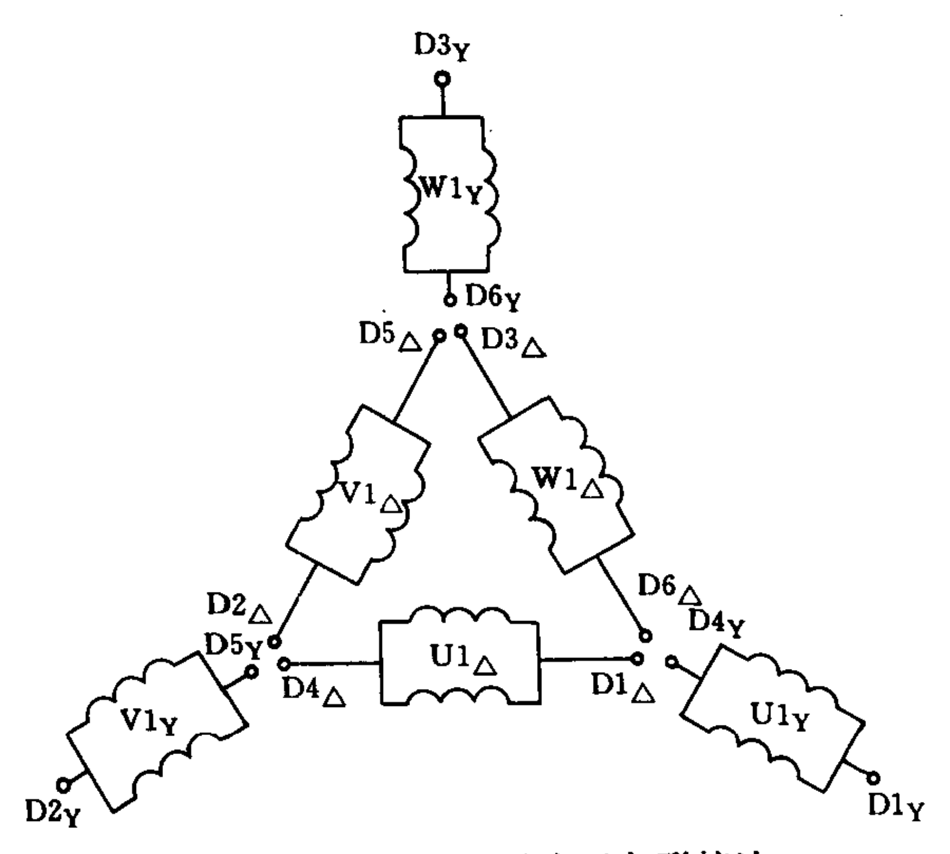


图 5-10 正弦绕组延边三角形接法

$(a_{\triangle}=a_{Y}=2)$

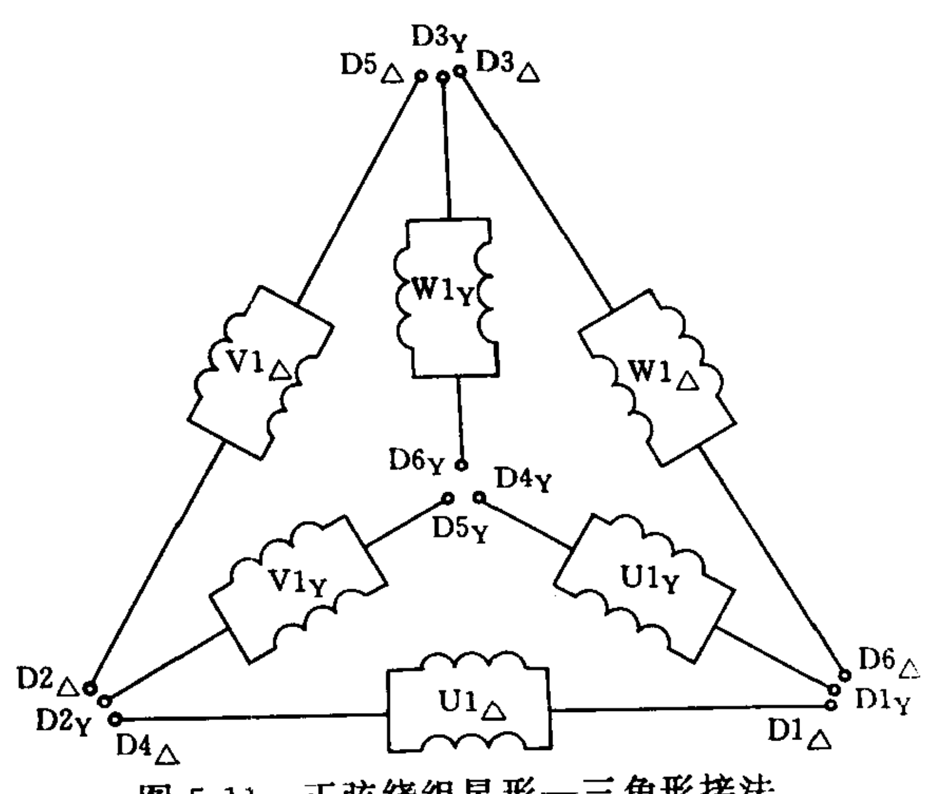


图 5-11 正弦绕组星形—三角形接法

$(a_{\triangle}=a_{Y}=2)$

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=15$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=26$。

（2）导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$，导线线规为 2—ϕ1.12mm、2—ϕ1.18mm，其截面积为 $A_c=4.156\text{mm}^2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_Y=a=2$。

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}\times4.156\text{mm}^2=7.658\text{mm}^2$。

选用线规　4—ϕ1.35mm、1—ϕ1.40mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.94}A_c=\frac{1}{0.94}\times4.156\text{mm}^2=4.421\text{mm}^2$。

选用线规　2—ϕ1.18mm、2—ϕ1.20mm。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_Y=a=2$。

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.94}\times\frac{\sqrt{3}}{2}A_c=\frac{1}{0.94}\times\frac{\sqrt{3}}{2}\times4.156\text{mm}^2=3.829\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.08mm、3—ϕ1.12mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2}A_c=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2}\times4.156\text{mm}^2=2.211\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.18mm、1—ϕ1.20mm。

（3）线圈节距

$$Y=\frac{11}{12}\tau_p=\frac{11}{12}\times18=16.5$$

取 $$Y=16$$

式中，$\tau_p=\frac{Q_1}{2p}=\frac{36}{2}=18$。

例 6 试将一台 Y—280S—2 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=42$
每槽导体数	$z_Q=14$
导线线规	7—ϕ1.50mm
绕组形式	双层叠绕组
接法	△
并联支路数	$a=2$

解

1. 正弦绕组排列和联结 原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{42}{2\times3}=7$ 为奇数，正弦绕组采用不轮换排列，即在每个极距内，每相三角形部分比星形部分多占一个槽。当每极每相槽数 $q=7$ 时，取 $q_\triangle=4$、$q_Y=3$，其绕组排列和电动势星形图见图 5-12。这样排列的绕组，三角形部分与相应的星形部分相带之间仍有 30°空间电角度的相位差，因而它们中的感应电动势也有 30°的时间相位差。三角形部分和星形部分绕组都采用双层叠绕组，其绕组平面展开图见图 5-13。绕组接线图见图 5-14。再将正弦绕组三角形部分与星形部分混合接成延边三角形，见图 5-10。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数 原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$，每槽导体数为 $z_Q=14$。正弦绕组采用延边三角形接法，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=2$，根据正弦绕组简易计算公

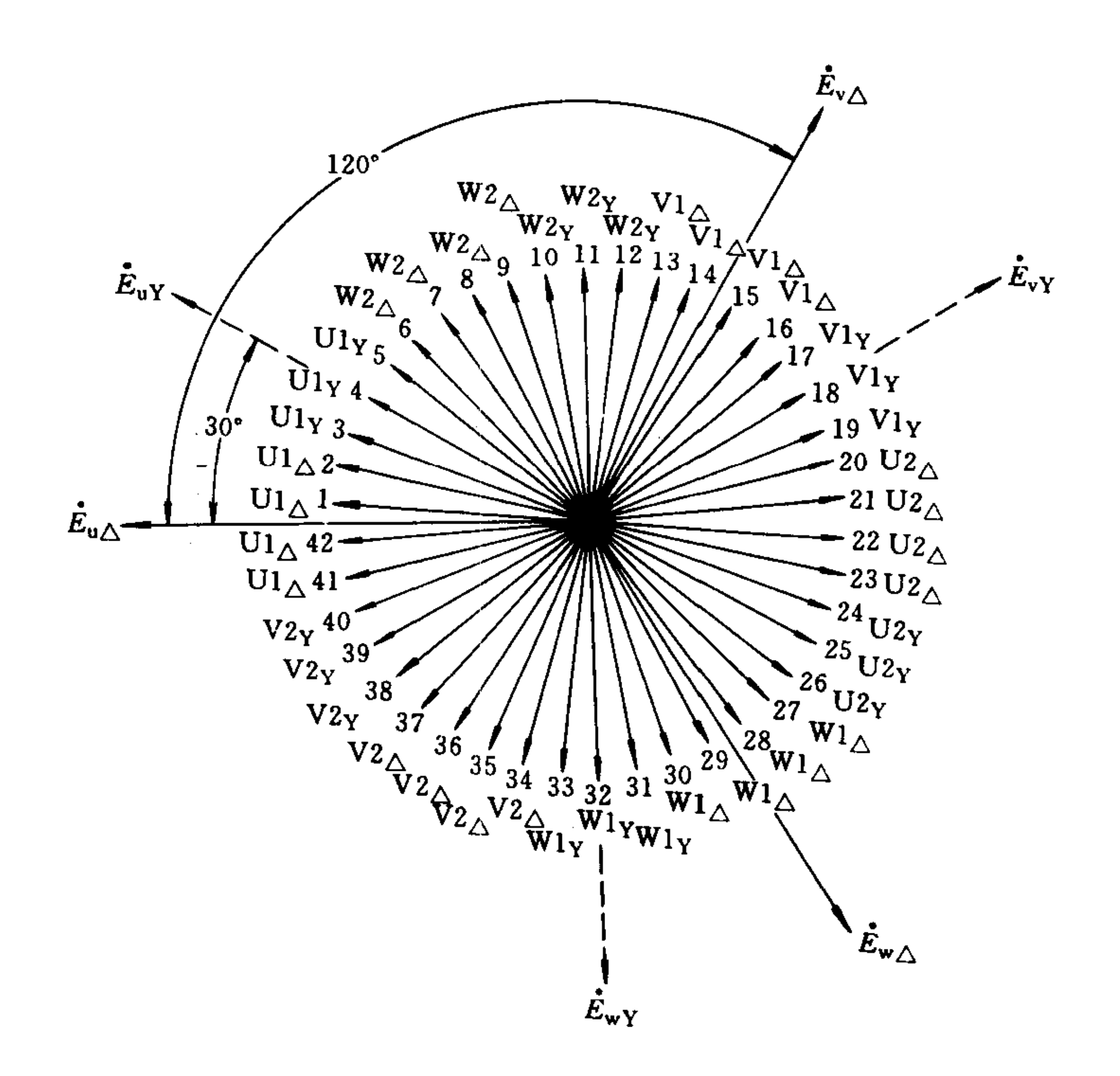


图 5-12 $Q_1=42$、$2p=2$ 电动势星形图及正弦绕组的排列

式可得：

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times14=7.6$，取 $z_Y=8$。

三角形部分每槽导体数 $z_\triangle=0.94z_Q=0.94\times14=13.2$，取 $z_\triangle=14$。

因为双层绕组每线圈匝数为每槽导体数的一半，所以

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=4$。

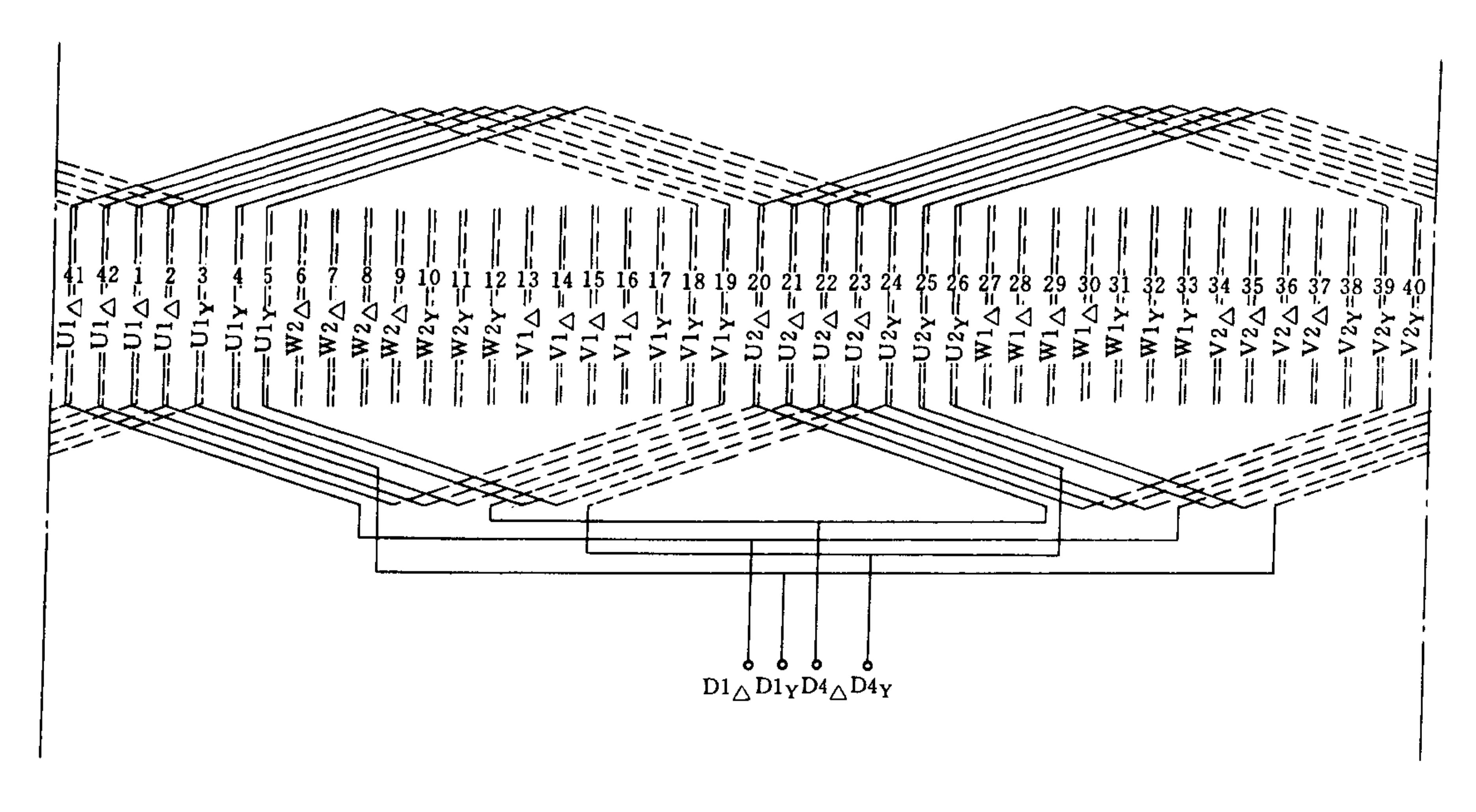


图 5-13　$Q_1=42$、$2p=2$ 正弦绕组中三角形与星形部分 U 相绕组平面展开图

($a_{\triangle}=a_{Y}=2$)

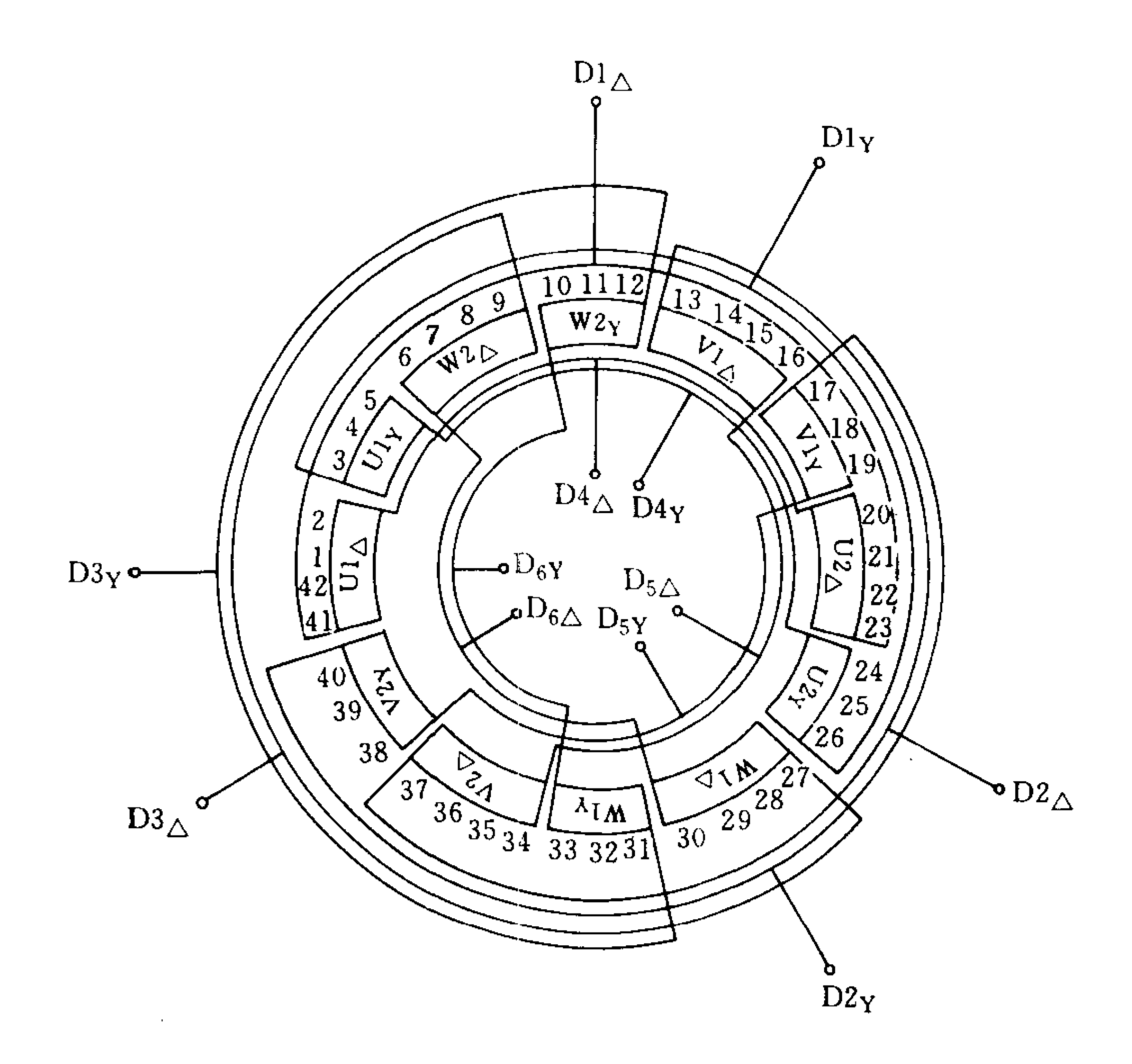


图 5-14 $Q_1=42$、$2p=2$ 正弦绕组不轮换排列接线图

($a_{\triangle}=a_Y=2$)

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=7$。

(2) 导线线规 原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$，导线线规为 7—ϕ1.50mm，其截面积为 $A_c=12.369\text{mm}^2$。正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为$a_{\triangle}=a_Y=a=2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

星形部分导线截面积 $A_Y=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}\times12.369\text{mm}^2=22.791\text{mm}^2$。

选用线规 13—ϕ1.45mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.94}A_c=\frac{1}{0.94}\times 12.369\text{mm}^2=13.159\text{mm}^2$。

选用线规　7—ϕ1.50mm。

（3）线圈节距

$$Y=\frac{11}{12}\tau_p=\frac{11}{12}\times 21=19.25$$

取

$$Y=19$$

式中，$\tau_p=\frac{Q_1}{2p}=\frac{42}{2}=21$。

例 7　试将一台 Y—801—4 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=24$
每槽导体数	$z_Q=128$
导线线规	1—ϕ0.56mm
绕组形式	单层链式绕组
接法	Y
并联支路数	$a=1$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{24}{4\times 3}=2$ 为偶数，正弦绕组分别按三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_{\triangle}=q_{Y}=\frac{q}{2}=\frac{2}{2}=1$ 来进行排列。绕组排列与联结见图 3-7 和图 3-9。再将三角形部分和星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 3-12，或星形—三角形，见图 3-13。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，每槽导体数为 $z_Q=128$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_{Y}=0.97z_Q=0.97\times128=124.2$，取 $z_{Y}=124$。

三角形部分每槽导体数 $z_{\triangle}=0.97\times\sqrt{3}z_Q=0.97\times\sqrt{3}\times128=215$。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_{Y}=0.97\times2z_Q=0.97\times2\times128=248.3$，取 $z_{Y}=248$。

三角形部分每槽导体数 $z_{\triangle}=0.97\times2\sqrt{3}z_Q=0.97\times2\sqrt{3}\times128=430.1$，取 $z_{\triangle}=430$。

因为单层绕组每线圈匝数即为每槽导体数，所以正弦绕组为延边三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=124$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=215$。

正弦绕组为星形—三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=248$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=430$。

（2）导线线规　原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，导线线规为 $1-\phi0.56\text{mm}$，其截面积为 $A_c=0.246\text{mm}^2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=$

$a=1$。

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times 0.246$ $\text{mm}^2=0.254\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.57mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}A_c=\frac{1}{0.97}\times$ $\frac{1}{\sqrt{3}}\times 0.246\text{mm}^2=0.146\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.41mm。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$。

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}\times$ $0.246\text{mm}^2=0.127\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.38mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2\sqrt{3}}A_c=$ $\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2\sqrt{3}}\times 0.246\text{mm}^2=0.0732\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.31mm。

例 8　试将一台 Y—100L1—4 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=36$
每槽导体数	$z_Q=41$
导线线规	2—ϕ0.71mm
绕组形式	单层交叉式绕组
接法	Y

并联支路数　　　　　　　　　　　　　　　$a=1$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{36}{4\times3}=3$ 为奇数，正弦绕组采用单双层混合排列，即取 $q_\triangle=2$、$q_Y=3$，其绕组排列和电动势星形图见图 3-27。绕组平面展开图见图 3-28。绕组采用延边三角形联结，见图 3-12。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　正弦绕组采用单双层混合排列，$q_\triangle=2$、$q_Y=3$。星形部分 3 个线圈的匝数分别为 N_{Y1}、N_{Y2}、N_{Y1}；三角形部分 2 个线圈的匝数都为 $N_\triangle$。为了使槽电流沿圆周呈正弦分布，星形部分和三角形部分每个线圈的匝数比为 $N_{Y2}:N_{Y1}:N_\triangle=1:0.3472:1.1848$。首先确定 N_{Y2}，便可算得 N_{Y1}和 $N_\triangle$。N_{Y2}的确定仍按正弦绕组简易计算公式求得。

原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，每槽导体数为 $z_Q=41$，正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$。根据正弦绕组简易计算公式可得：

$$z_{Y2}=0.97z_Q=0.97\times41=39.8$$

取　$$z_{Y2}=40$$

因为三角形部分和星形部分绕组均为单层绕组，每线圈匝数等于每槽导体数，所以

$$N_{Y2}=z_{Y2}=40$$

而　$$N_{Y1}=0.3472N_{Y2}=0.3472\times40=13.9$$

取　$$N_{Y1}=14$$

$$N_\triangle=1.1848N_{Y2}=1.1848\times40=47.4$$

取　$$N_\triangle=47$$

（2）导线线规　原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，导线线规为 2—ϕ0.71mm，其截面积为 $A_c=0.7914\text{mm}^2$。正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times0.7914\text{mm}^2=0.8159\text{mm}^2$。

选用线规　2—ϕ0.72mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times0.7914\text{mm}^2=0.471\text{mm}^2$。

选用线规　2—ϕ0.55mm。

例 9　试将一台 Y—112M—4 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=36$
每槽导体数	$z_Q=46$
导线线规	1—ϕ1.06mm
绕组形式	单层交叉式绕组
接法	△
并联支路数	$a=1$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{36}{4\times3}=3$ 为奇数，正弦绕组采用单双层混合排列，即取 $q_\triangle=2$、$q_Y=3$，其绕组排列和电动势星形图见图 3-27。绕组平面展开图见图 3-28。绕组采用延边三角形联结，见图 3-12。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

(1) 每线圈匝数　正弦绕组采用单双层混合排列，$q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$。星形部分3个线圈的匝数分别为N_{Y1}、N_{Y2}、N_{Y1}；三角形部分两个线圈的匝数都为$N_{\triangle}$。为了使槽电流沿圆周呈正弦分布，星形部分和三角形部分每个线圈的匝数比为$N_{Y2}:N_{Y1}:N_{\triangle}=1:0.3472:1.1848$。首先确定$N_{Y2}$，便可算出$N_{Y1}$和$N_{\triangle}$。$N_{Y2}$的确定仍按正弦绕组简易计算公式求得。

原三相绕组为三角形联结，并联支路数为$a=1$。每槽导体数为$z_Q=46$，正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为$a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。根据正弦绕组简易计算公式可得：

$$z_{Y2}=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 46=25.8$$

取
$$z_{Y2}=26$$

因为三角形部分和星形部分绕组均为单层绕组，每线圈匝数等于每槽导体数，所以

$$N_{Y2}=z_{Y2}=26$$

而
$$N_{Y1}=0.3472N_{Y2}=0.3472\times 26=9$$
$$N_{\triangle}=1.1848N_{Y2}=1.1848\times 26=30.8$$

取
$$N_{\triangle}=31$$

(2) 导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为$a=1$，导线线规为$1—\phi1.06\text{mm}$，其截面积为$A_c=0.882\text{mm}^2$。正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为$a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。根据正弦绕组简易计算公式可得：

星形部分导线截面积　$A_{Y}=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}\times 0.882\text{mm}^2=1.5749\text{mm}^2$。

选用线规　2—ϕ1.00mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times 0.882$ $\mathrm{mm}^2=0.9093\mathrm{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.75mm、1—ϕ0.77mm。

例 10　试将一台 Y—160M—4 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=36$
每槽导体数	$z_Q=56$
导线线规	1—ϕ1.30mm
绕组形式	单层交叉式绕组
接法	△
并联支路数	$a=2$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{36}{4\times 3}=3$ 为奇数，正弦绕组采用单双层混合排列，即取 $q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$，其绕组排列和电动势星形图见图 3-27。绕组平面展开图见图 5-15。绕组采用延边三角形联结，见图 5-10。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

(1) 每线圈匝数　正弦绕组采用单双层混合排列，$q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$。星形部分 3 个线圈的匝数分别为 N_{Y1}、N_{Y2}、N_{Y1}；三角形部分 2 个线圈的匝数都为 $N_{\triangle}$。为了使槽电流沿圆周呈正弦分布，星形部分和三角形部分每个线圈的匝数比为 $N_{Y2}:N_{Y1}:N_{\triangle}=1:0.3472:1.1848$。首先确定 N_{Y2}，便可算出 N_{Y1}和 $N_{\triangle}$。N_{Y2}的确定仍按正弦绕组简易计算公式求得。

原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$。每槽导

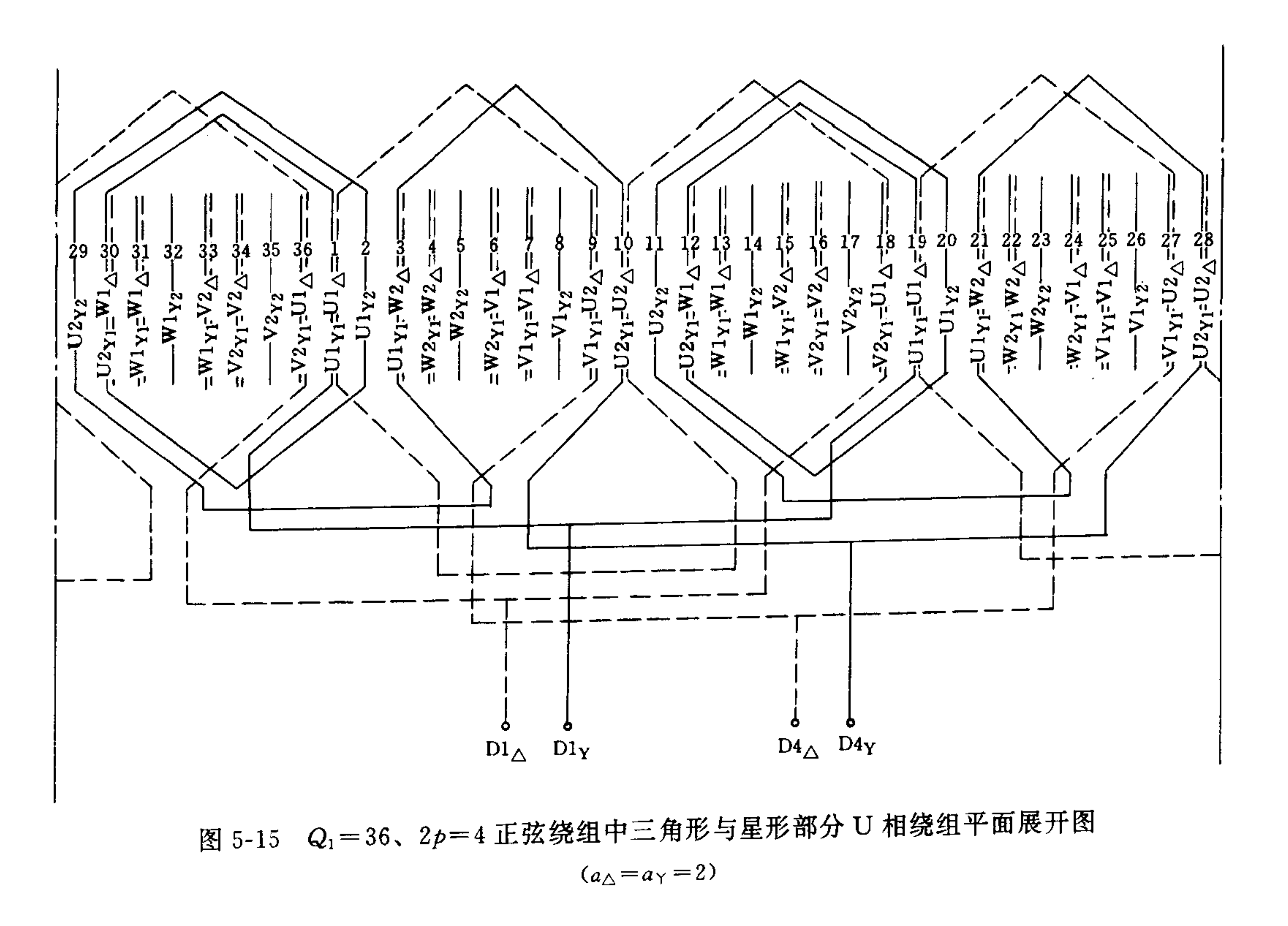


图 5-15 $Q_1=36$、$2p=4$ 正弦绕组中三角形与星形部分 U 相绕组平面展开图

($a_\triangle=a_Y=2$)

体数为 $z_Q=56$，正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=2$。根据正弦绕组简易计算公式可得：

$$z_{Y2}=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 56=31.4$$

取 $$z_{Y2}=31$$

因为三角形部分和星形部分绕组均为单层绕组，每线圈匝数等于每槽导体数，所以

$$N_{Y2}=z_{Y2}=31$$

而 $$N_{Y1}=0.3472N_{Y2}=0.3472\times 31=10.8$$

取 $$N_{Y1}=11$$

$$N_\triangle=1.1848N_{Y2}=1.1848\times 31=36.7$$

取 $$N_\triangle=37$$

（2）导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$，导线线规为 1—ϕ1.30mm，其截面积为 $A_c=1.327\text{mm}^2$。正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=2$。根据正弦绕组简易计算公式可得：

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}\times 1.327\text{mm}^2=2.369\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.20mm、1—ϕ1.25mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times 1.327\text{mm}^2=1.368\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.90mm、1—ϕ0.96mm。

例 11　试将一台 Y—180M—4 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数　$Q_1=48$

每槽导体数	$z_Q=32$
导线线规	2—ϕ1.18mm
绕组形式	双层叠绕组
接法	△
并联支路数	$a=2$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{48}{4\times 3}=4$ 为偶数，正弦绕组分别按三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_\triangle=q_Y=\frac{q}{2}=\frac{4}{2}=2$ 来进行排列。绕组排列与联结见图 5-16 和图 5-17。再将三角形部分和星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 5-10，或星形—三角形，见图 5-11。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$，每槽导体数为 $z_Q=32$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=2$。

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 32=17.4$，取 $z_Y=18$。

三角形部分每槽导体数 $z_\triangle=0.94z_Q=0.94\times 32=30.1$，取 $z_\triangle=30$。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=2$。

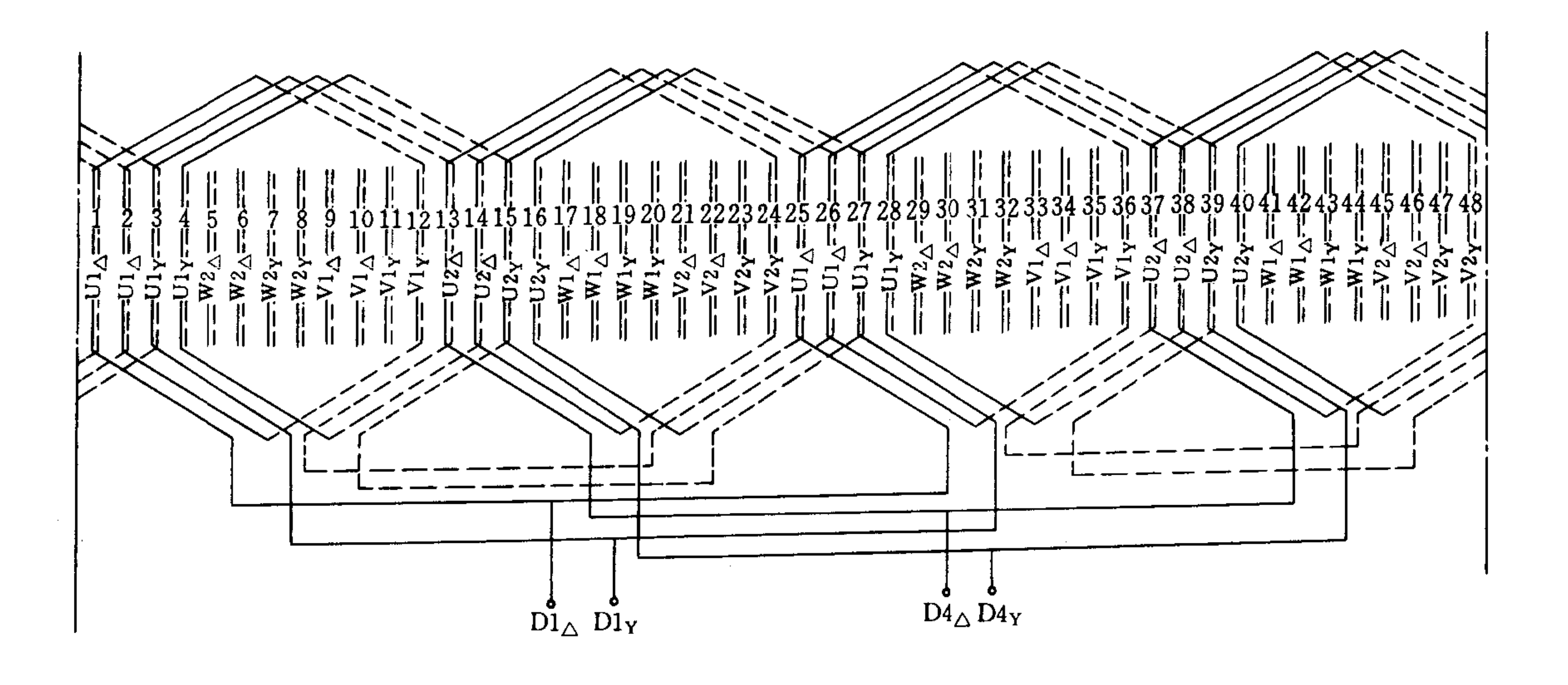


图 5-16　$Q_1=48$、$2p=4$ 正弦绕组中三角形与星形部分 U 相绕组平面展开图

$(a_{\triangle}=a_{Y}=2)$

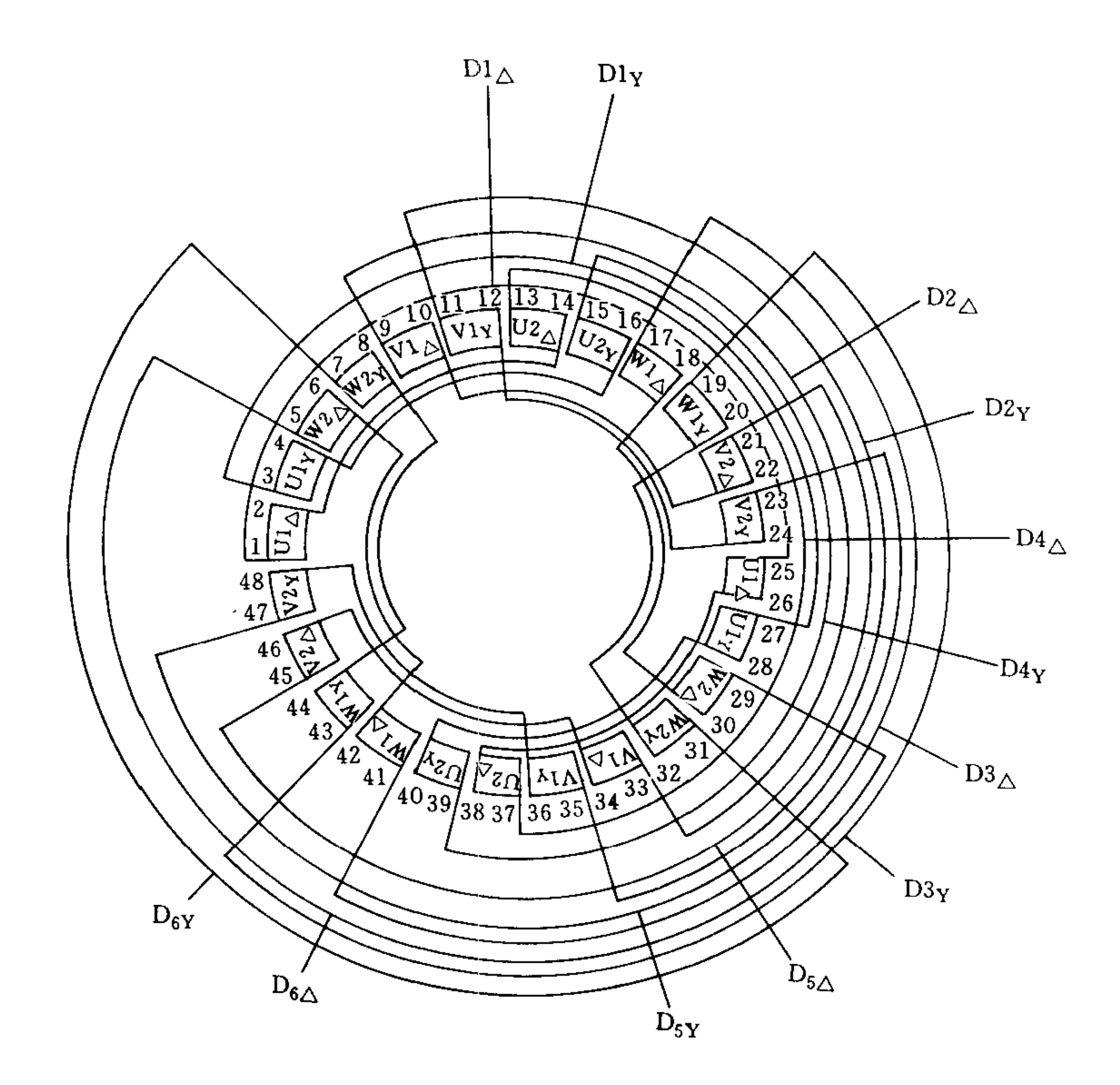


图 5-17　$Q_1=48$、$2p=4$ 正弦绕组接线图

$(a_\triangle=a_Y=2)$

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.94\times\frac{2}{\sqrt{3}}z_Q=0.94\times\frac{2}{\sqrt{3}}\times 32=34.7$，取 $z_Y=34$。

三角形部分每槽导体数 $z_\triangle=0.94\times 2z_Q=0.94\times 2\times 32=60.2$，取 $z_Y=60$。

因为双层绕组每线圈匝数为每槽导体数的一半，所以，正弦绕组为延边三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=9$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=15$。

正弦绕组为星形—三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=17$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=30$。

（2）导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$，导线线规为 2—ϕ1.18mm，其截面积为 $A_c=2.186\text{mm}^2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=2$。

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}\times2.186\text{mm}^2=4.0278\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.25mm、2—ϕ1.30mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.94}A_c=\frac{1}{0.94}\times2.186\text{mm}^2=2.3255\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.12mm、1—ϕ1.30mm。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=2$。

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.94}\times\frac{\sqrt{3}}{2}A_c=\frac{1}{0.94}\times\frac{\sqrt{3}}{2}\times2.186\text{mm}^2=2.0139\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.12mm、1—ϕ1.16mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2}A_c=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2}\times2.186\text{mm}^2=1.1628\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.20mm。

（3）线圈节距

$$Y=\frac{11}{12}\tau_p=\frac{11}{12}\times 12=11$$

式中，$\tau_p=\frac{Q_1}{2p}=\frac{48}{4}=12$。

例 12　试将一台 Y—200L—4 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=48$
每槽导体数	$z_Q=48$
导线线规	1—ϕ1.06mm、1—ϕ1.12mm
绕组形式	双层叠绕组
接法	△
并联支路数	$a=4$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{48}{4\times 3}=4$ 为偶数，正弦绕组分别按三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_\triangle=q_Y=\frac{q}{2}=\frac{4}{2}=2$ 来进行排列。绕组排列与联结见图 5-18 和图 5-19。再将三角形部分和星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 5-20，或星形—三角形，见图 5-21。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=4$，每槽导体数为 $z_Q=48$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

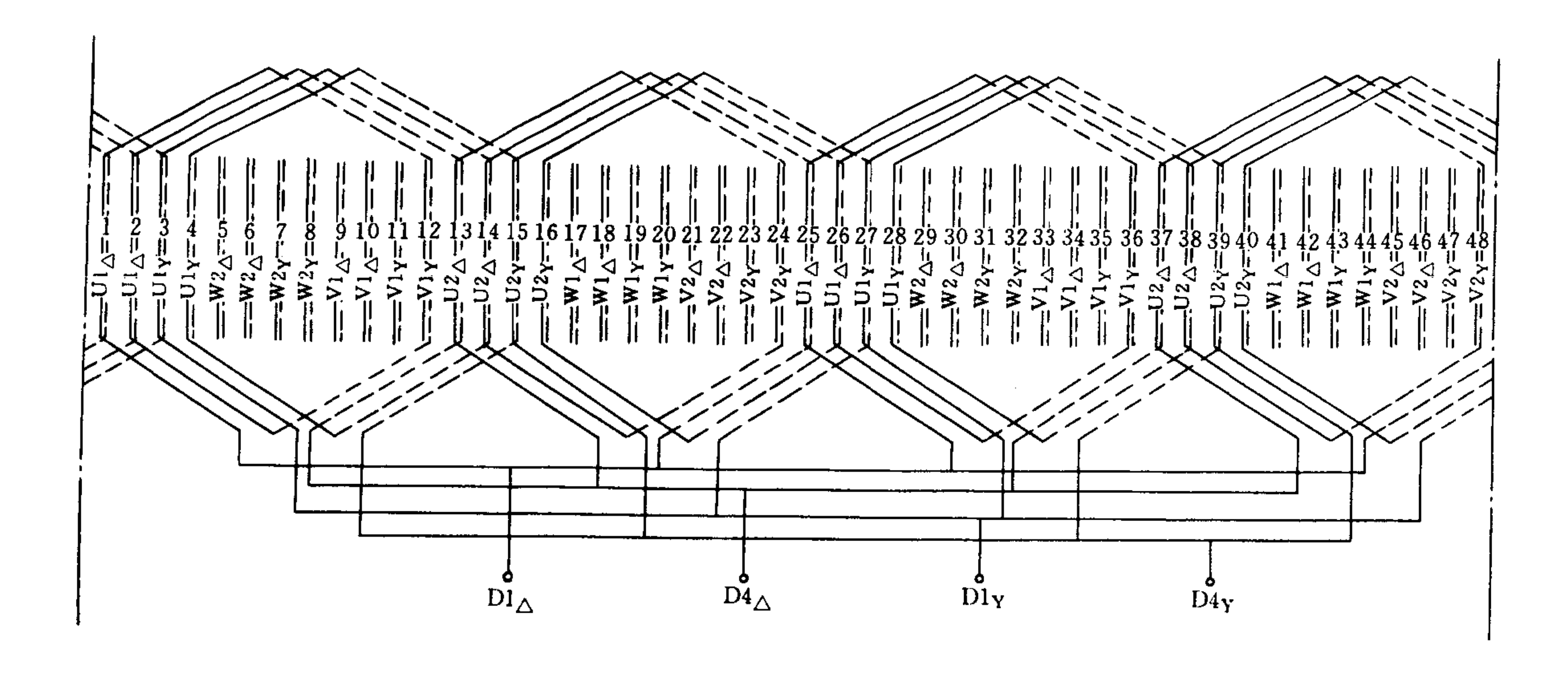


图 5-18 $Q_1=48$、$2p=4$ 正弦绕组中三角形与星形部分 U 相绕组平面展开图

($a_{\triangle}=a_{Y}=4$)

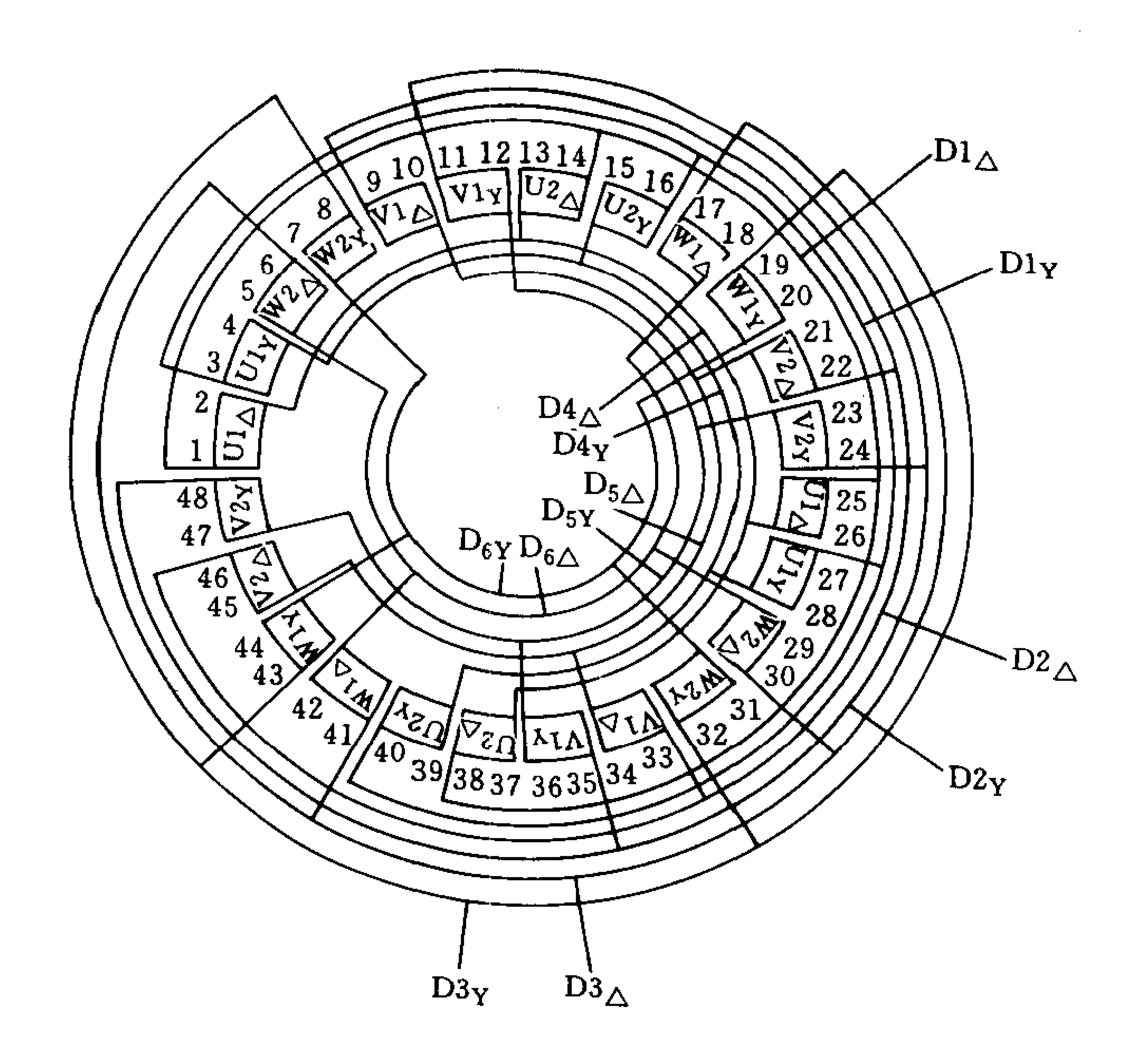


图 5-19 $Q_1=48$、$2p=4$ 正弦绕组接线图

($a_{\triangle}=a_{Y}=4$)

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=4$。

星形部分每槽导体数 $z_{Y}=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_{Q}=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times48=26.1$，取 $z_{Y}=26$。

三角形部分每槽导体数 $z_{\triangle}=0.94z_{Q}=0.94\times48=45.1$，取 $z_{\triangle}=46$。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=4$。

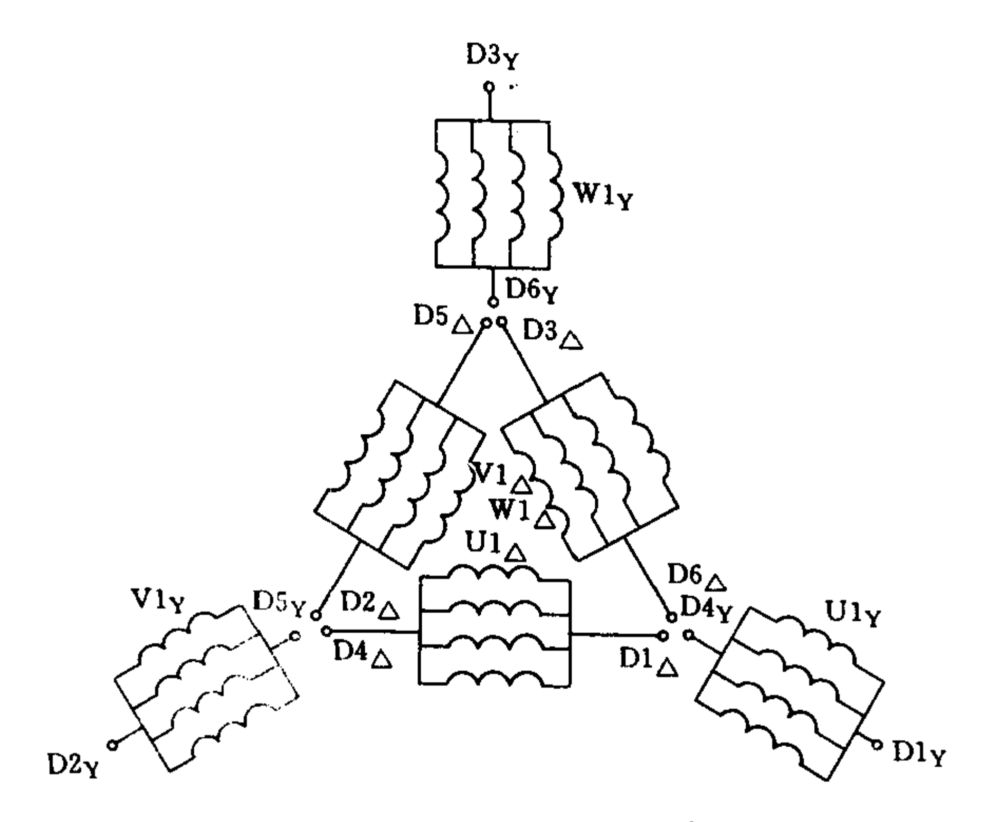


图 5-20　正弦绕组延边三角形△联结

($a_{\triangle}=a_{Y}=4$)

星形部分每槽导体数 $z_{Y}=0.94\times\frac{2}{\sqrt{3}}z_{Q}=0.94\times\frac{2}{\sqrt{3}}\times48=52.1$，取 $z_{Y}=52$。

三角形部分每槽导体数$z_{\triangle}=0.94\times2z_{Q}=0.94\times2\times48=90.2$，取 $z_{\triangle}=90$。

因为双层绕组每线圈匝数为每槽导体数的一半，所以正弦绕组为延边三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=13$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=23$。

正弦绕组为星形—三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=26$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=45$。

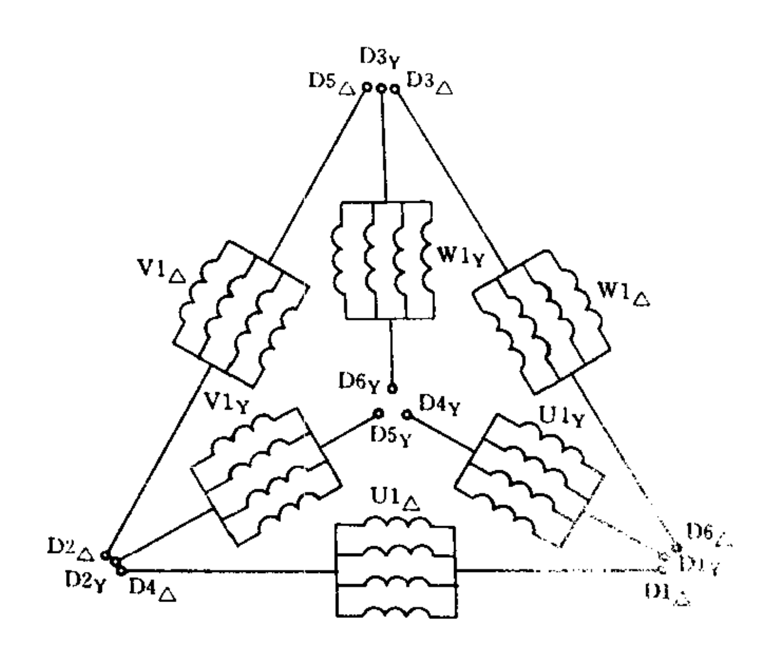


图 5-21　正弦绕组星形—三角形联结

($a_{\triangle}=a_{Y}=4$)

(2) 导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=4$，导线线规为 1—ϕ1.06mm、1—ϕ1.12mm，其截面积为 $A_c=1.867\text{mm}^2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=4$。

星形部分导线截面积　$A_{Y}=\dfrac{1}{0.94}\times\sqrt{3}A_c=\dfrac{1}{0.94}\times\sqrt{3}\times1.867\text{mm}^2=3.44\text{mm}^2$。

选用线规　2—ϕ1.18mm、1—ϕ1.25mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\dfrac{1}{0.94}A_c=\dfrac{1}{0.94}\times1.867\text{mm}^2=1.986\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.06mm、1—ϕ1.16mm。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=4$。

星形部分导线截面积 $A_{Y}=\frac{1}{0.94}\times\frac{\sqrt{3}}{2}A_{c}=\frac{1}{0.94}\times\frac{\sqrt{3}}{2}\times1.867\text{mm}^{2}=1.72\text{mm}^{2}$。

选用线规 1—ϕ1.04mm、1—ϕ1.06mm。

三角形部分导线截面积 $A_{\triangle}=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2}A_{c}=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2}\times1.867\text{mm}^{2}=0.993\text{mm}^{2}$。

选用线规 1—ϕ1.12mm。

(3) 线圈节距

$$Y=\frac{11}{12}\tau_{p}=\frac{11}{12}\times12=11$$

式中，$\tau_{p}=\frac{Q_{1}}{2p}=\frac{48}{4}=12$。

例 13 试将一台 Y—280S—4 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_{1}=60$
每槽导体数	$z_{Q}=26$
导线线规	2—ϕ1.25mm、2—ϕ1.30mm
绕组形式	双层叠绕组
接法	△
并联支路数	$a=4$

解

1. 正弦绕组排列和联结 原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_{1}}{2pm}=\frac{60}{4\times3}=5$ 为奇数，正弦绕组采用不轮换排列，即在每个

极距内，每相三角形部分比星形部分多占 1 个槽。当每极每相槽数 $q=5$ 时，取 $q_{\triangle}=3$、$q_{Y}=2$。这样排列的绕组，三角形部分与相应的星形部分相带之间仍有 30°空间电角的相位差，因而它们中的感应电动势也有 30°的时间相位差。其绕组排列和电动势星形图见图 5-22。三角形部分和星形部分绕组都采用双层叠绕组，其绕组平面展开图见图 5-23，接线图见图 5-24。再将三角形部分和星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 5-20。

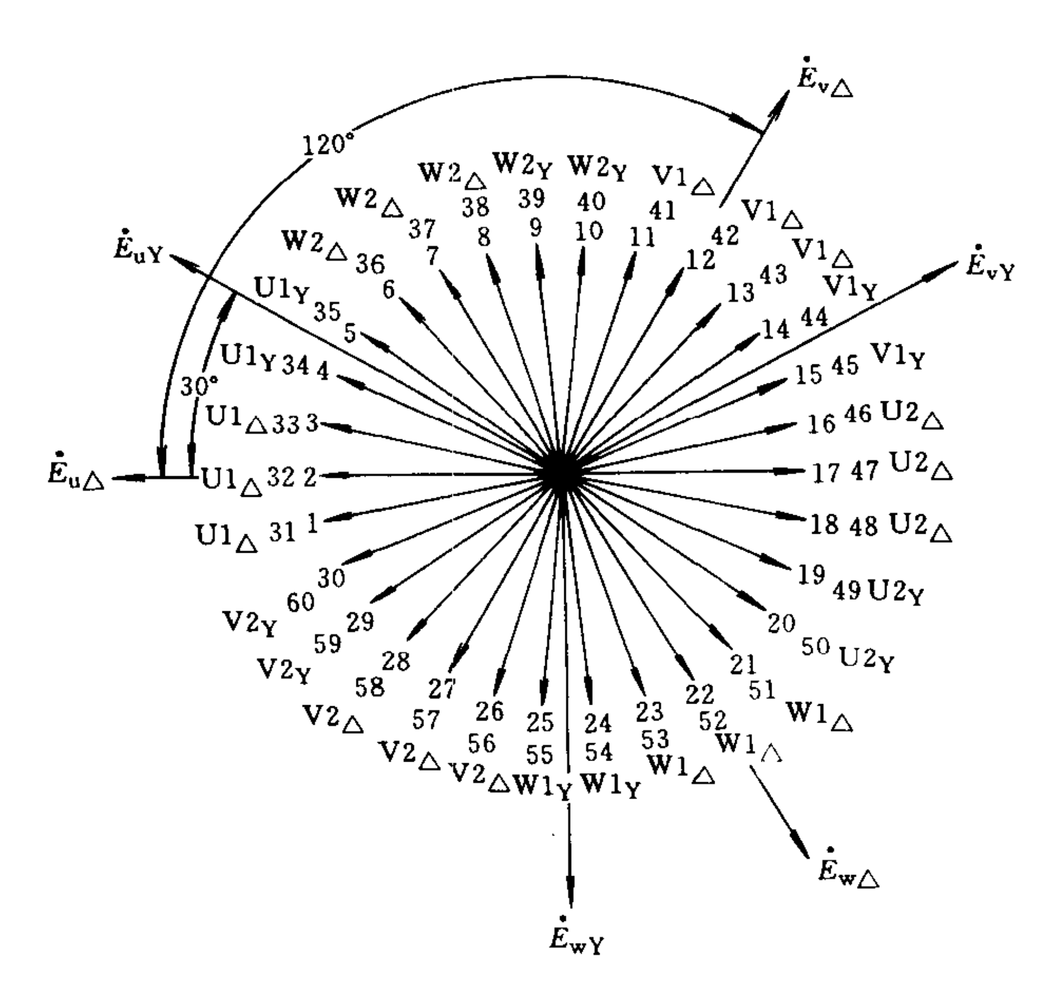


图 5-22　$Q_1=60$、$2p=4$ 电动势星形图及正弦绕组排列

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=4$，每槽导体数 $z_Q=26$。正弦绕组采用延边三角形联

结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=4$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times26=14.1$，取 $z_Y=14$。

三角形部分每槽导体数 $z_\triangle=0.94z_Q=0.94\times26=24.4$，取 $z_Y=24$。

因为双层绕组每线圈匝数等于每槽导体数的一半，所以

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=7$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=12$。

（2）导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=4$，导线线规为 2—ϕ1.25mm、2—ϕ1.30mm，其截面积 $A_c=5.108\text{mm}^2$。正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=4$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}\times5.108\text{mm}^2=9.412\text{mm}^2$。

选用线规　4—ϕ1.40mm、2—ϕ1.45mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.94}A_c=\frac{1}{0.94}\times5.108\text{mm}^2=5.434\text{mm}^2$。

选用线规　2—ϕ1.30mm、2—ϕ1.35mm。

（3）线圈节距

$$Y=\frac{11}{12}\tau_p=\frac{11}{12}\times15=13.75$$

取

$$Y=14$$

式中，$\tau_p=\frac{Q_1}{2p}=\frac{60}{4}=15$。

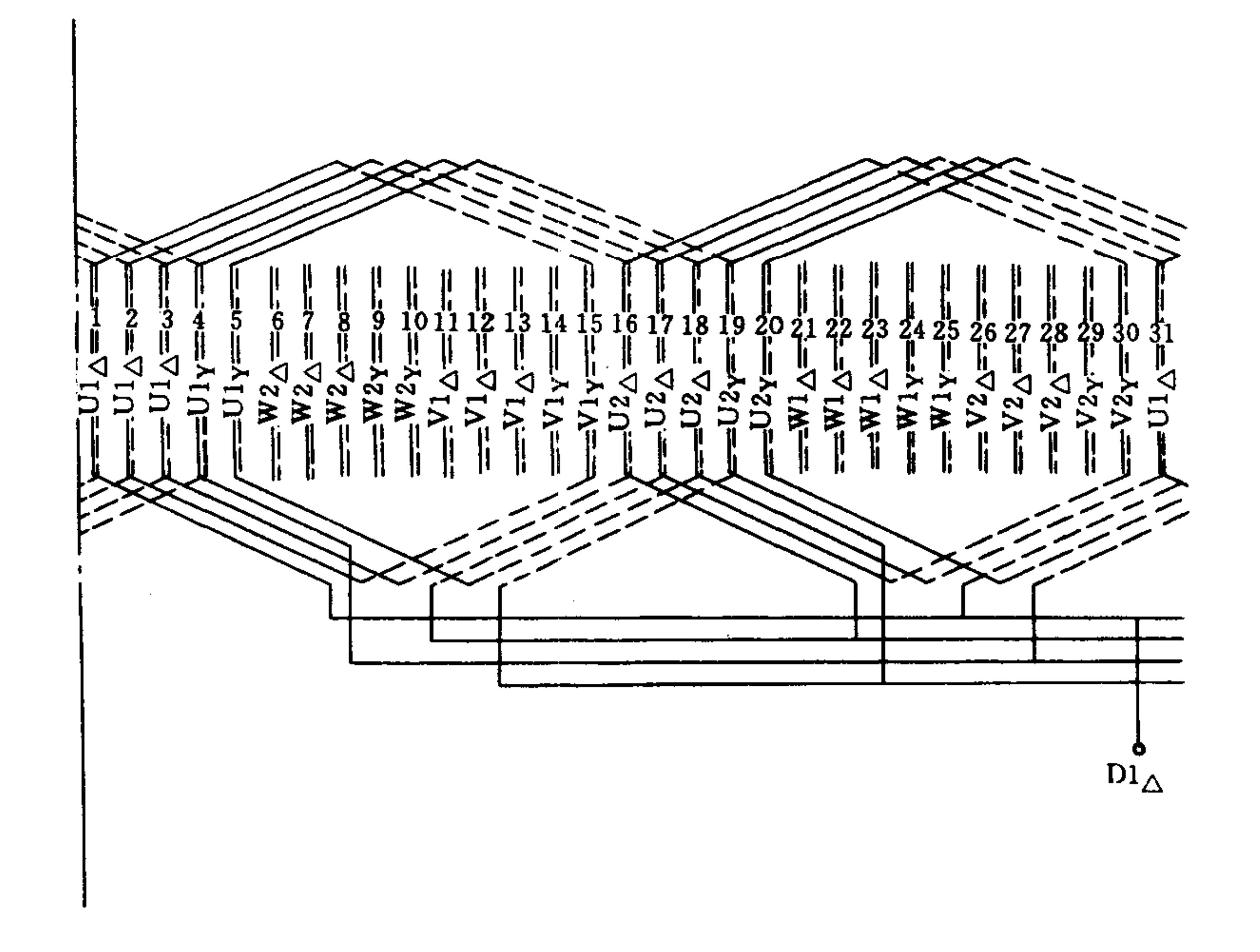
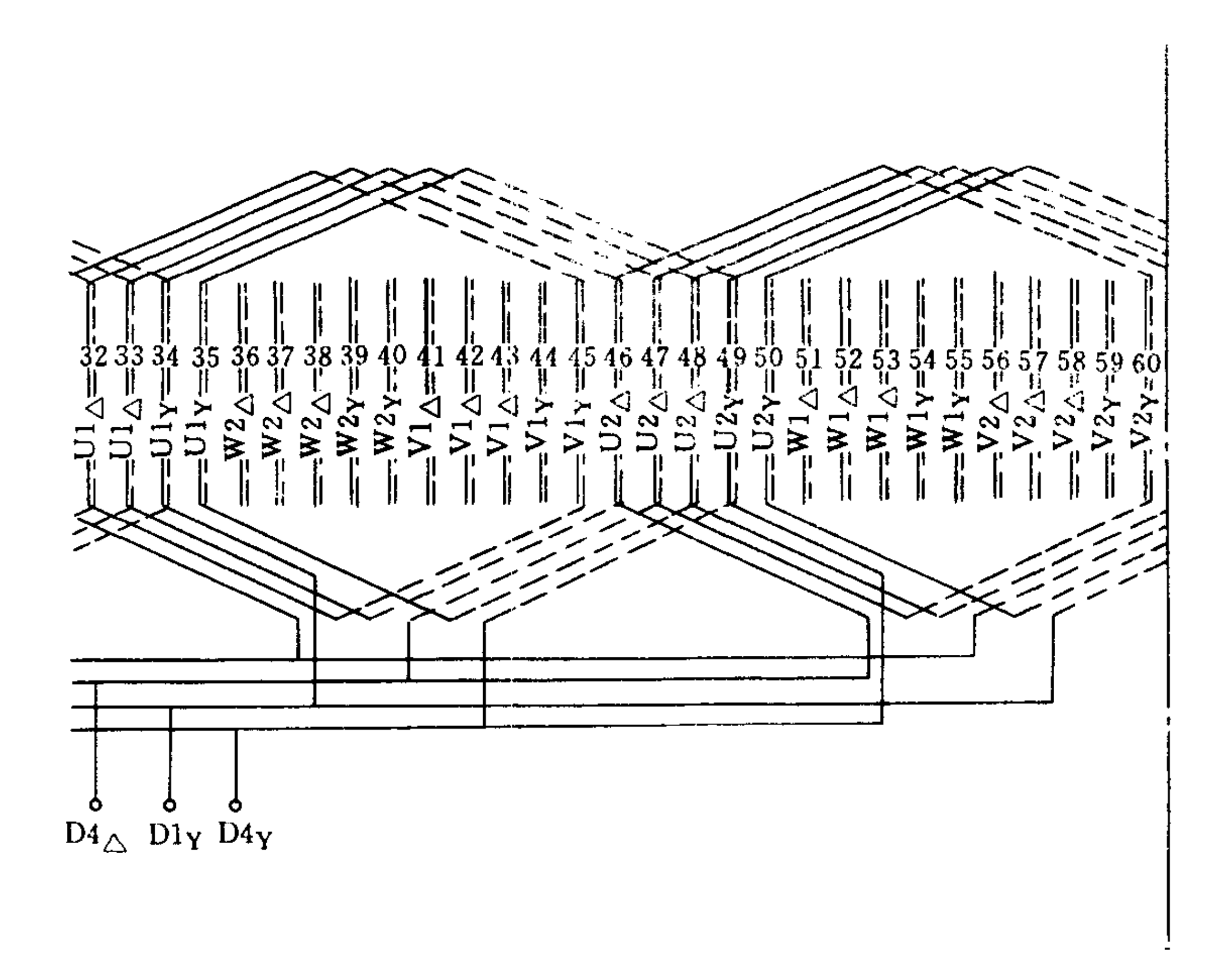


图 5-23　$Q_1=60$、$2p=4$ 正弦绕组中三

（$a_{\triangle}=a_{Y}$



角形与星形部分 U 相绕组平面展开图

=4）

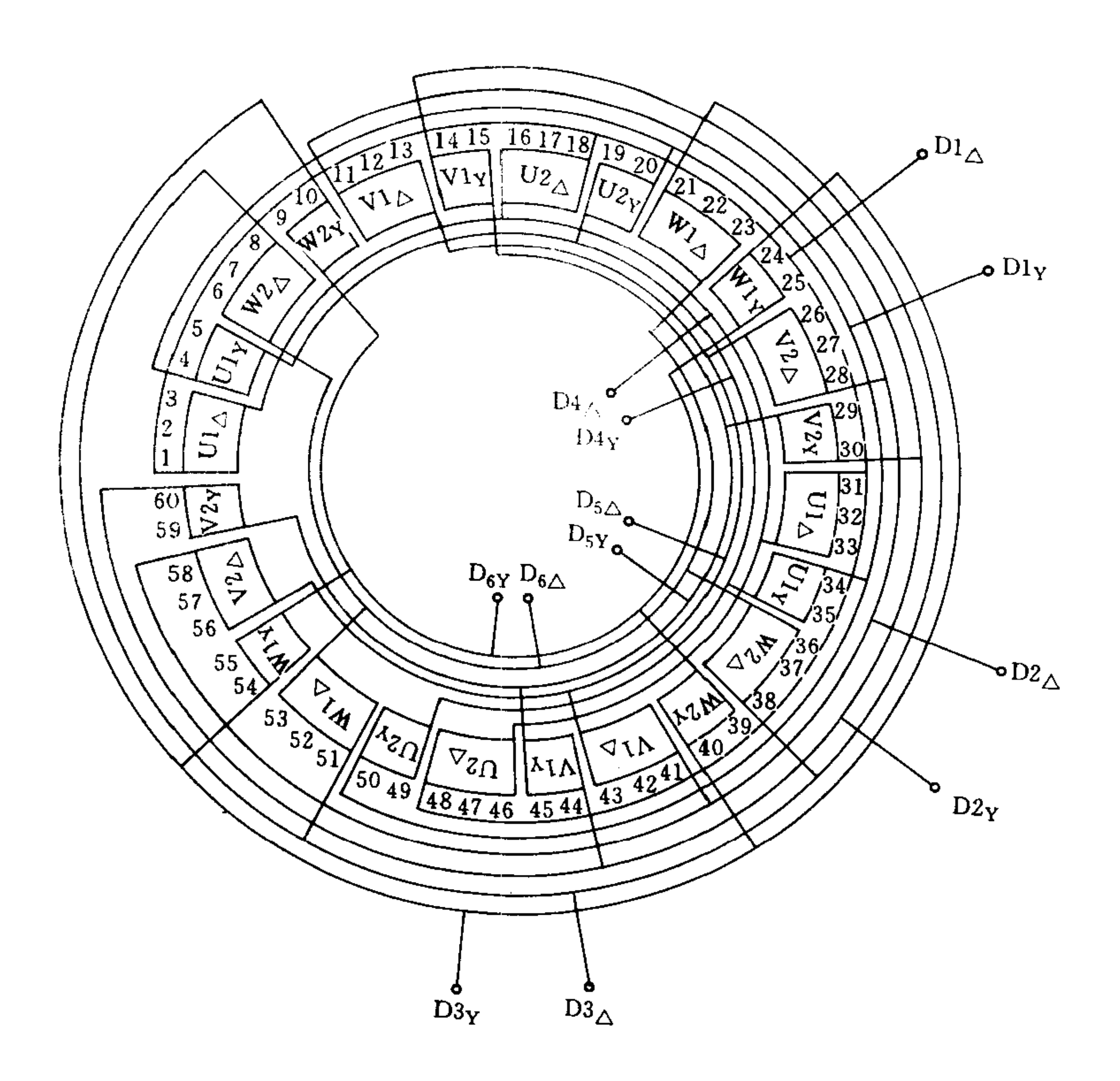


图 5-24 $Q_1=60$、$2p=4$ 正弦绕组不轮换排列接线图

($a_{\triangle}=a_{Y}=4$)

例 14 试将一台 Y—90S—6 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数 $Q_1=36$

每槽导体数 $z_Q=77$

导线线规 2—ϕ0.67mm

绕组形式 单层链式绕组

接法 Y

并联支路数 $a=1$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{36}{6\times3}=2$ 为偶数，正弦绕组分别按三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_{\triangle}=q_{Y}=\frac{q}{2}=\frac{2}{2}=1$ 来进行排列。组绕排列和联结见图 5-25。再将三角形部分和星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 3-12，或星形—三角形，见图 3-13。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

(1) 每线圈匝数　原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，每槽导体数为 $z_Q=77$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_{Y}=0.97z_Q=0.97\times77=74.7$，取 $z_{Y}=75$。

三角形部分每槽导体数 $z_{\triangle}=0.97\times\sqrt{3}z_Q=0.97\times\sqrt{3}\times77=129.4$，取 $z_{\triangle}=129$。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_{Y}=0.97\times2z_Q=0.97\times2\times77=149.4$，取 $z_{Y}=149$。

三角形部分每槽导体数 $z_{\triangle}=0.97\times2\sqrt{3}z_Q=0.97\times2\sqrt{3}\times77=258.7$，取 $z_{\triangle}=259$。

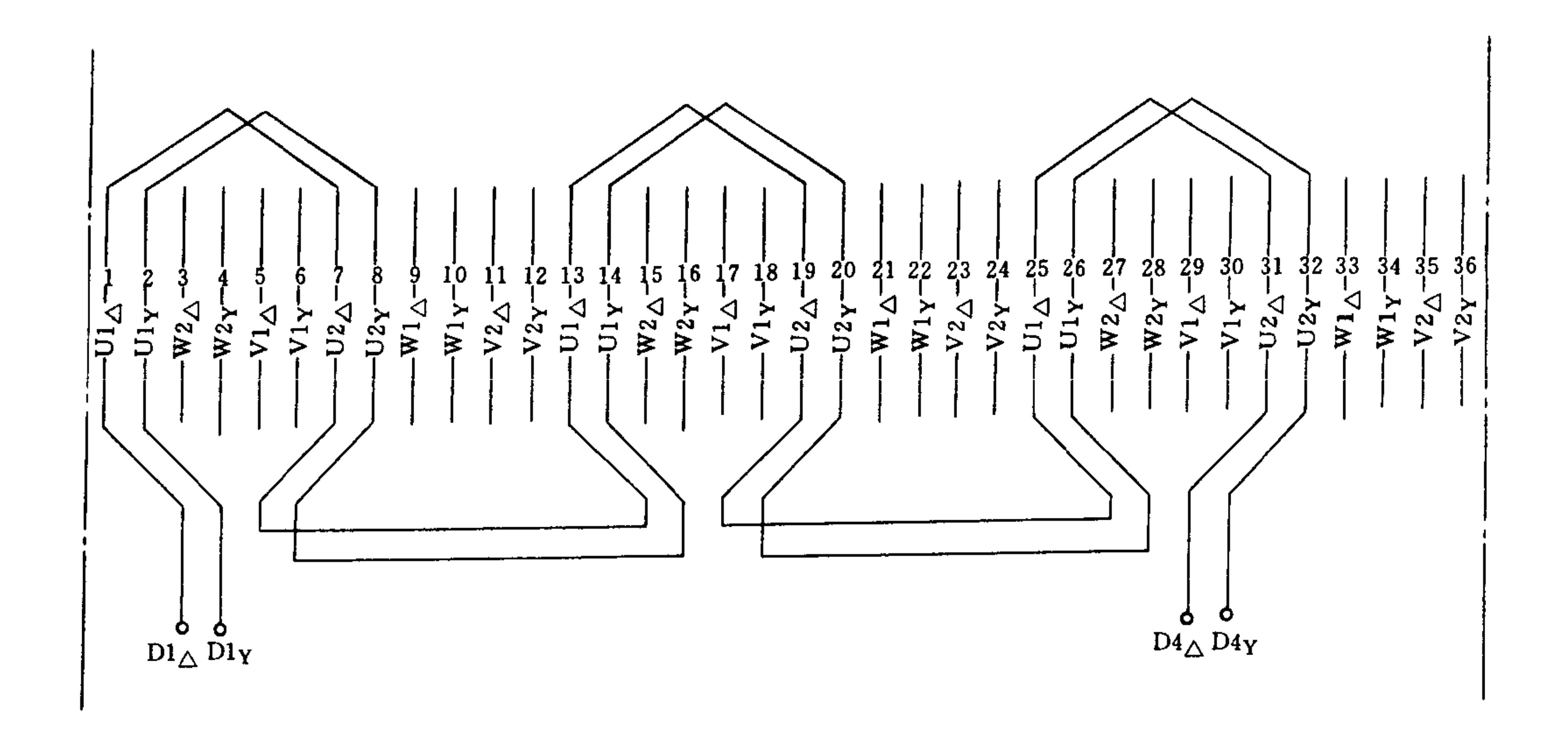


图 5-25 $Q_1=36$、$2p=6$ 正弦绕组中三角形与星形部分 U 相绕组平面展开图

($a_{\triangle}=a_{Y}=1$)

因为单层绕组每线圈匝数等于每槽导体数，所以正弦绕组为延边三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=75$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=129$。

正弦绕组为星形—三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=149$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=259$。

（2）导线线规　原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，导线线规为 1—ϕ0.67mm，其截面积为 $A_c=0.353\text{mm}^2$．根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$。

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times 0.353\text{mm}^2=0.3639\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.67mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 0.353\text{mm}^2=0.2101\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.51mm。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$。

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}\times 0.353\text{mm}^2=0.182\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.49mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2\sqrt{3}}A_c=$

$\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2\sqrt{3}}\times 0.353\text{mm}^2=0.105\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.35mm。

例 15　试将一台 Y—132M1—6 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=36$
每槽导体数	$z_Q=52$
导线线规	1—ϕ1.06mm
绕组形式	单层链式绕组
接法	△
并联支路数	$a=1$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{36}{6\times 3}=2$ 为偶数，正弦绕组分别按三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_\triangle=q_Y=\frac{q}{2}=\frac{2}{2}=1$ 来进行排列。绕组排列和联结见图 5-25。再将三角形部分和星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 3-12，或星形—三角形，见图 3-13。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=1$，每槽导体数为 $z_Q=52$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.97\times$

$\frac{1}{\sqrt{3}}\times 52=29.1$，取 $z_{Y}=29$。

三角形部分每槽导体数 $z_{\triangle}=0.97z_{Q}=0.97\times 52=50.4$，取 $z_{\triangle}=50$。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_{Y}=0.97\times\frac{2}{\sqrt{3}}z_{Q}=0.97\times\frac{2}{\sqrt{3}}\times 52=58.2$，取 $z_{Y}=58$。

三角形部分每槽导体数 $z_{\triangle}=0.97\times 2z_{Q}=0.97\times 2\times 52=100.9$，取 $z_{\triangle}=101$。

因为单层绕组每线圈匝数等于每槽导体数，所以正弦绕组为延边三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=29$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=50$。

正弦绕组为星形—三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=58$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=101$。

（2）导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=1$，导线线规为 1—ϕ1.06mm，其截面积 $A_{c}=0.882\text{mm}^2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分导线截面积　$A_{Y}=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}A_{c}=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}\times 0.882\text{mm}^2=1.575\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.96mm、1—ϕ1.04mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times 0.882\text{mm}^2=0.909\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.08mm。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分导线截面积　$A_{Y}=\frac{1}{0.97}\times\frac{\sqrt{3}}{2}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{\sqrt{3}}{2}\times 0.882\text{mm}^2=0.787\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.00mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}\times 0.882\text{mm}^2=0.455\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.75mm。

例 16　试将一台 Y—180L—6 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=54$
每槽导体数	$z_Q=34$
导线线规	1—ϕ1.50mm
绕组形式	双层叠绕组
接法	△
并联支路数	$a=2$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{54}{6\times 3}=3$ 为奇数，正弦绕组采用单双层混合排列，即取

$q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$。其绕组排列和电动势星形图见图 5-26。正弦绕组平面展开图见图 5-27。再将正弦绕组三角形部分与星形部分混合接成延边三角形，见图 5-28。

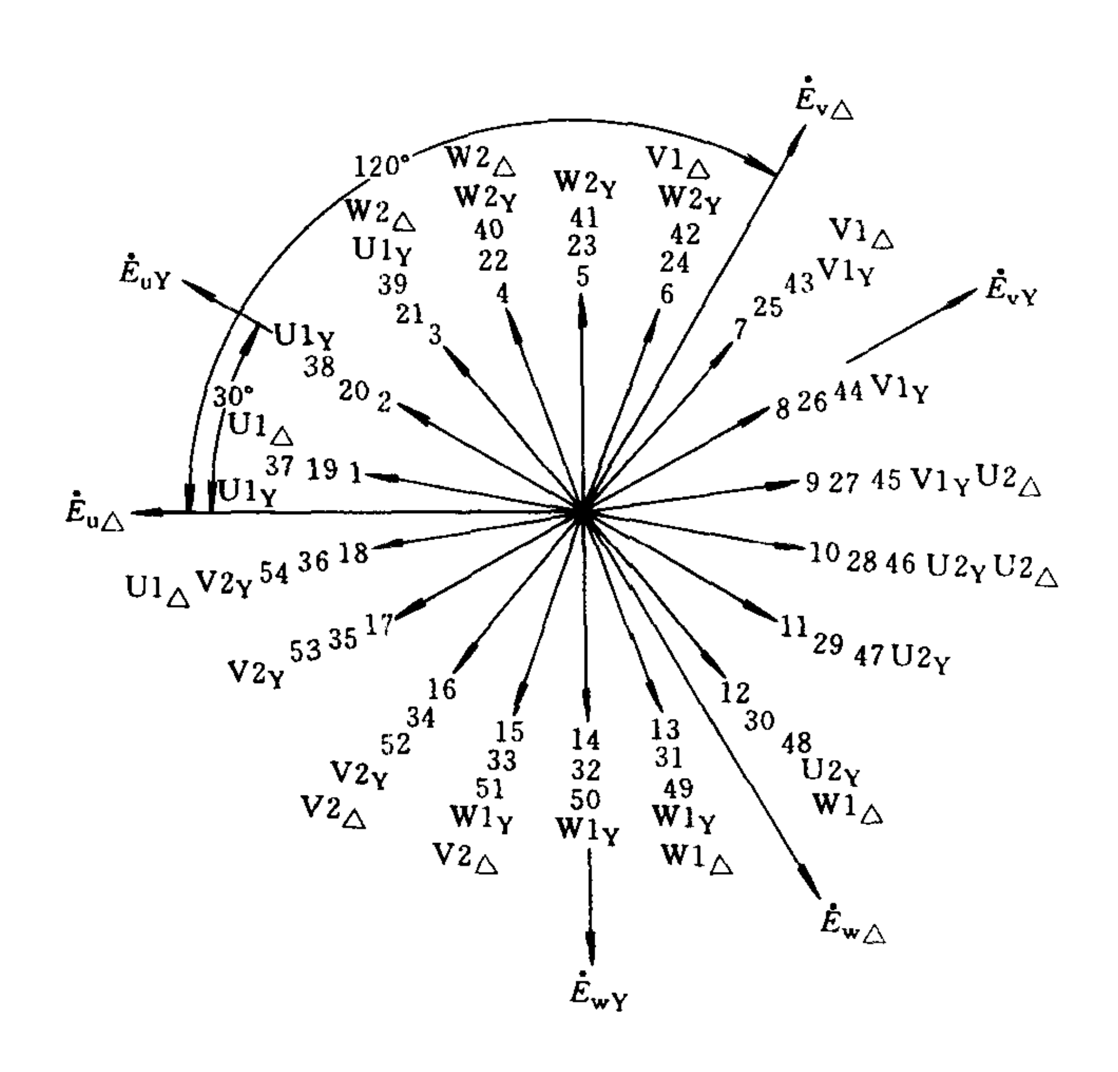


图 5-26　$Q_1=54$、$2p=6$ 电动势星形图及正弦绕组的排列

原三相绕组为双层叠绕组，并联支路数为 $a=2$，而在正弦绕组中采用单双层混合排列，无法接成两条并联支路，本例采用并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=3$。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　正弦绕组采用单双层混合排列，$q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$。星形部分 3 个线圈的匝数分别为 N_{Y1}、N_{Y2}、N_{Y1}；三角形部分两个线圈的匝数都为$N_{\triangle}$。为了使槽电流沿圆周

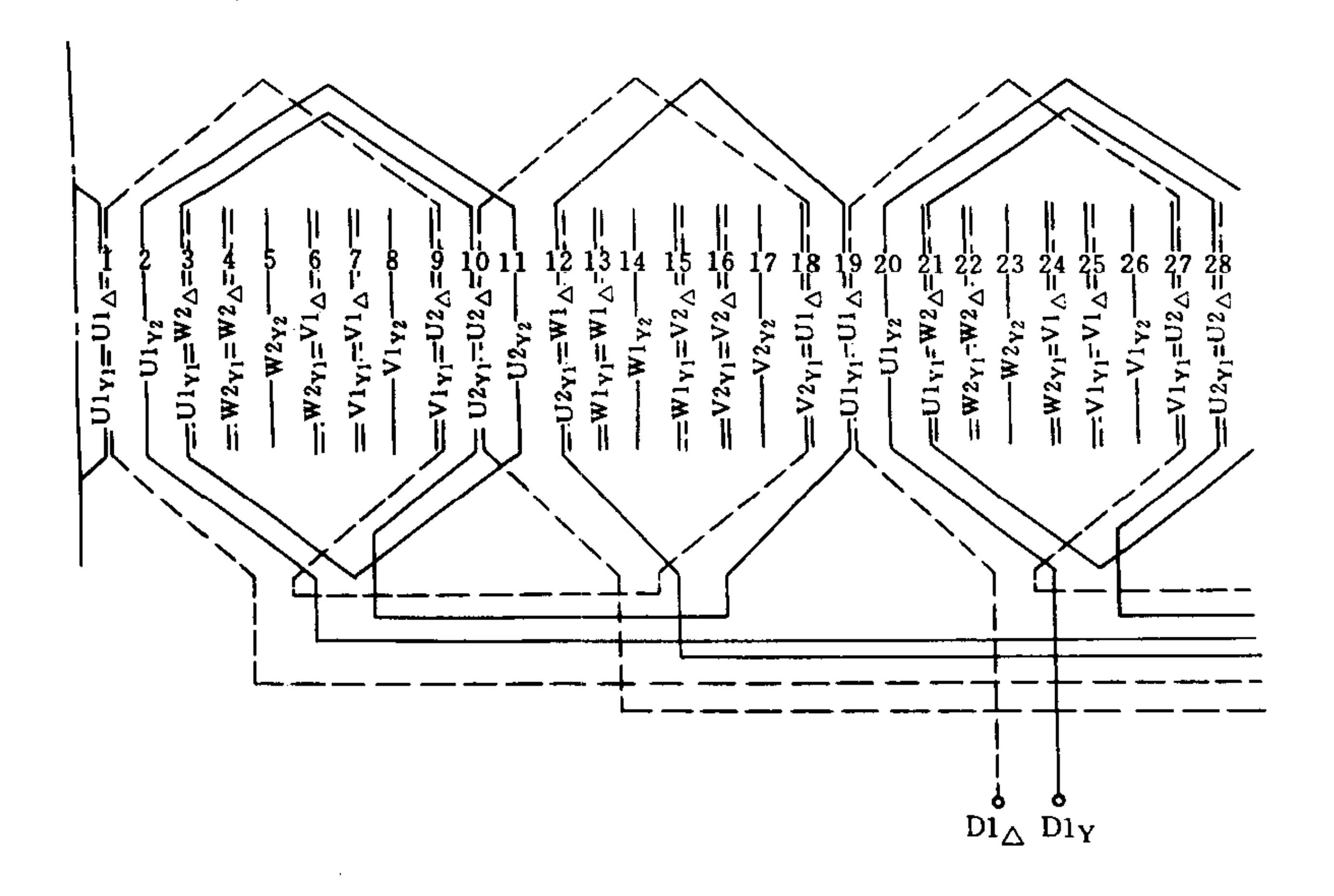
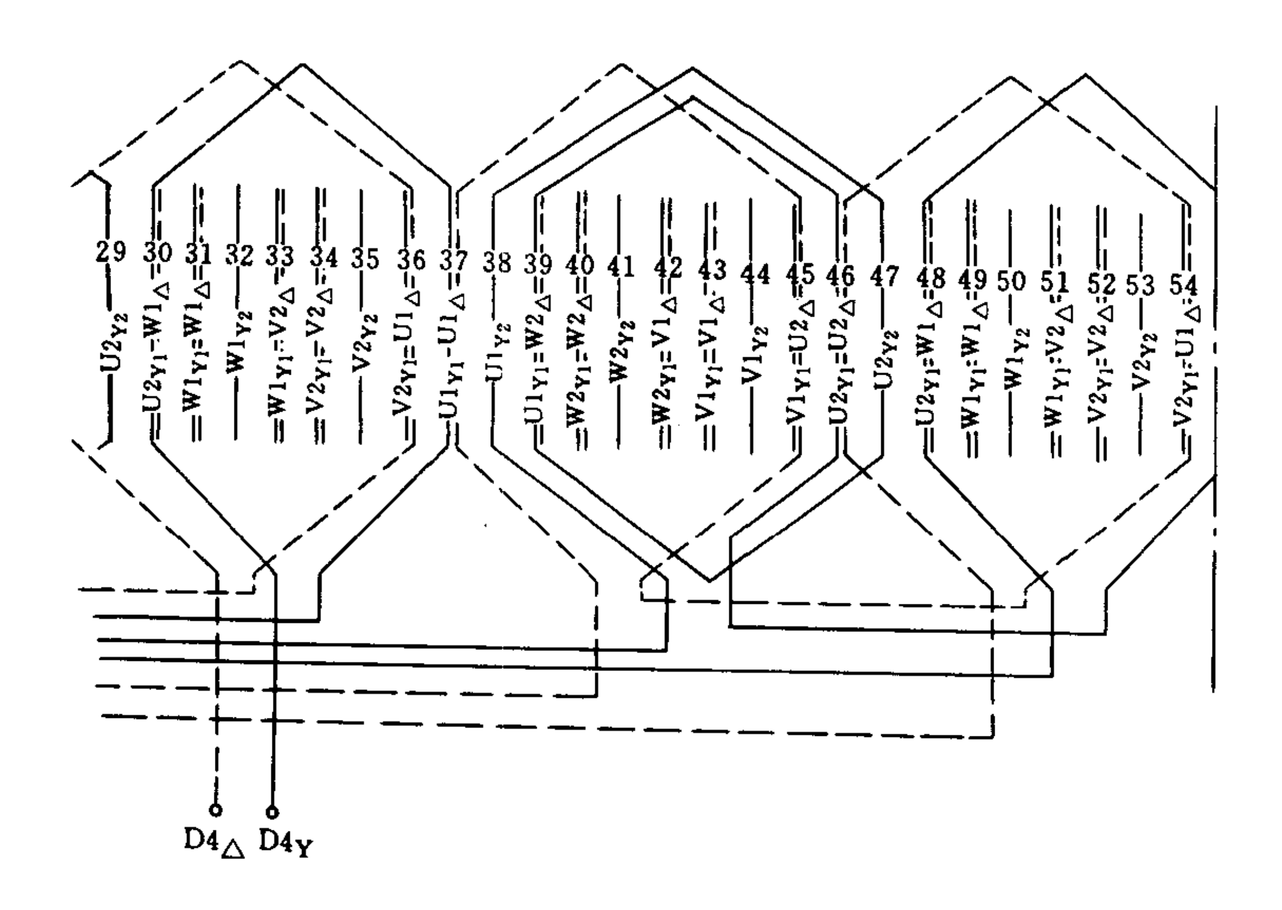


图 5-27 $Q_1=54$、$2p=6$ 正弦绕组中三角形

（$a_{\triangle}=a_{Y}$



与星形部分 U 相绕组平面展开图

=3）

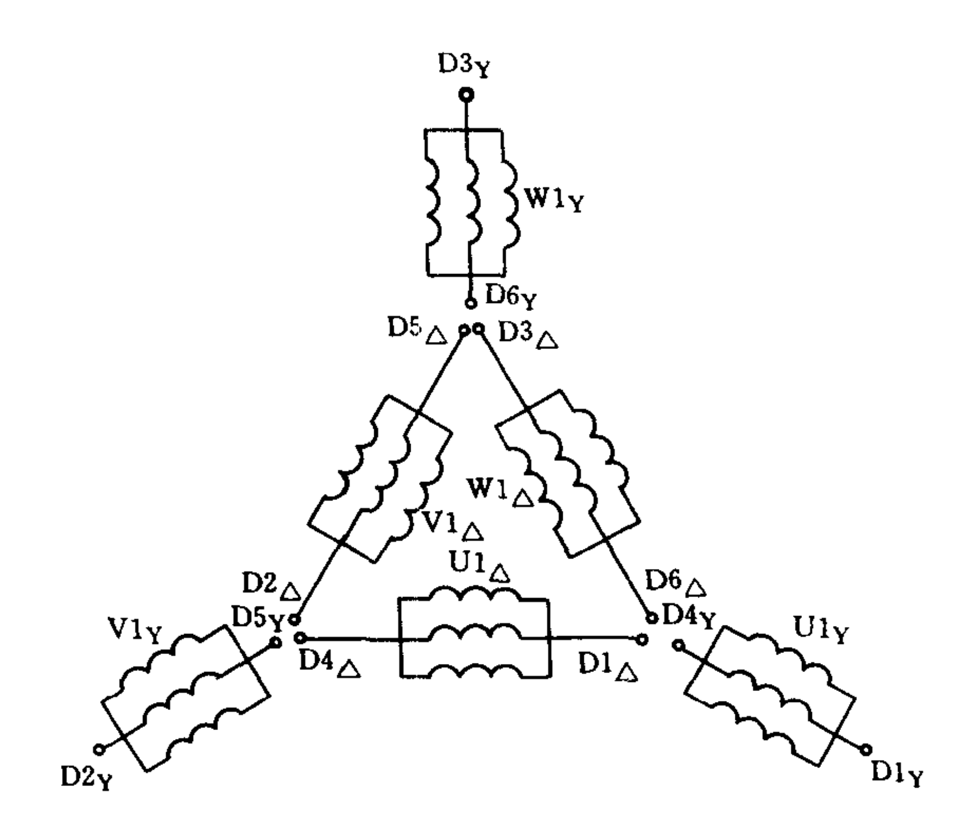


图 5-28　正弦绕组延边三角形联结

$(a_{\triangle}=a_{Y}=3)$

呈正弦分布，星形部分和三角形部分每个线圈的匝数比为 $N_{Y2}:N_{Y1}:N_{\triangle}=1:0.3472:1.1848$。首先确定 N_{Y2}，便可算出 N_{Y1}和 $N_{\triangle}$。N_{Y2}的确定仍按正弦绕组简易计算公式求得。

原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$，每槽导体数为 $z_Q=34$。在正弦绕组中采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=3$，因此，首先应将原三相绕组并联支路数由 $a=2$ 改为 $a=3$，然后再按 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=3$ 进行计算。改制的原则是保持每匝电压和导线中电流密度不变，这样，并联支路数由 $a=2$ 改为 $a=3$，每槽导体数必须增至 $\frac{3}{2}$ 倍，而导线截面积则应减至 $\frac{2}{3}$ 原导线截面积。正弦绕组的绕组数据应按原

三相绕组为三角形联结，并联支路数 $a=3$，每槽导体数 $z_Q=\frac{3}{2}\times34=51$ 和导线线规为 $\frac{2}{3}$—$\phi1.50$mm 进行计算。现在正弦绕组采用延边三角形联结，根据正弦绕组简易计算公式可得：

$$z_{Y2}=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times51=28.6$$

取 $$z_{Y2}=29$$

因为三角形部分和星形部分绕组均为单层绕组，每线圈匝数等于每槽导体数，所以

$$N_{Y2}=z_{Y2}=29$$

而 $$N_{Y1}=0.3472N_{Y2}=0.3472\times29=10.1$$

取 $$N_{Y1}=10$$

$$N_\triangle=1.1848N_{Y2}=1.1848\times29=34.4$$

取 $$N_\triangle=34$$

（2）导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=3$，导线线规为 $\frac{2}{3}$—$\phi1.50$mm，其截面积为 $A_c=1.178\text{mm}^2$。现在正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=3$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}\times1.178\text{mm}^2=2.103\text{mm}^2$。

选用线规　1—$\phi1.12$mm、1—$\phi1.16$mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times1.178\text{mm}^2=1.214\text{mm}^2$。

选用线规　1—$\phi1.25$mm。

例 17　试将一台 Y—250M—6 三相异步电动机的三相

绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=72$
每槽导体数	$z_Q=28$
导线线规	1—ϕ1.12mm、2—ϕ1.18mm
绕组形式	双层叠绕组
接法	△
并联支路数	$a=3$

解

1．正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{72}{6\times3}=4$ 为偶数，正弦绕组分别按三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_{\triangle}=q_{Y}=\frac{q}{2}=\frac{4}{2}=2$ 来进行排列。其绕组排列和电动势星形图见图 5-29。三角形部分和星形部分绕组都采用双层叠绕组，绕组平面展开图见图 5-30，接线图见图 5-31。再将三角形部分与星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 5-28，或星形—三角形，见图 5-32。

2．正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=3$，每槽导体数为 $z_Q=28$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=3$。

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times28=15.2$，取 $z_Y=16$。

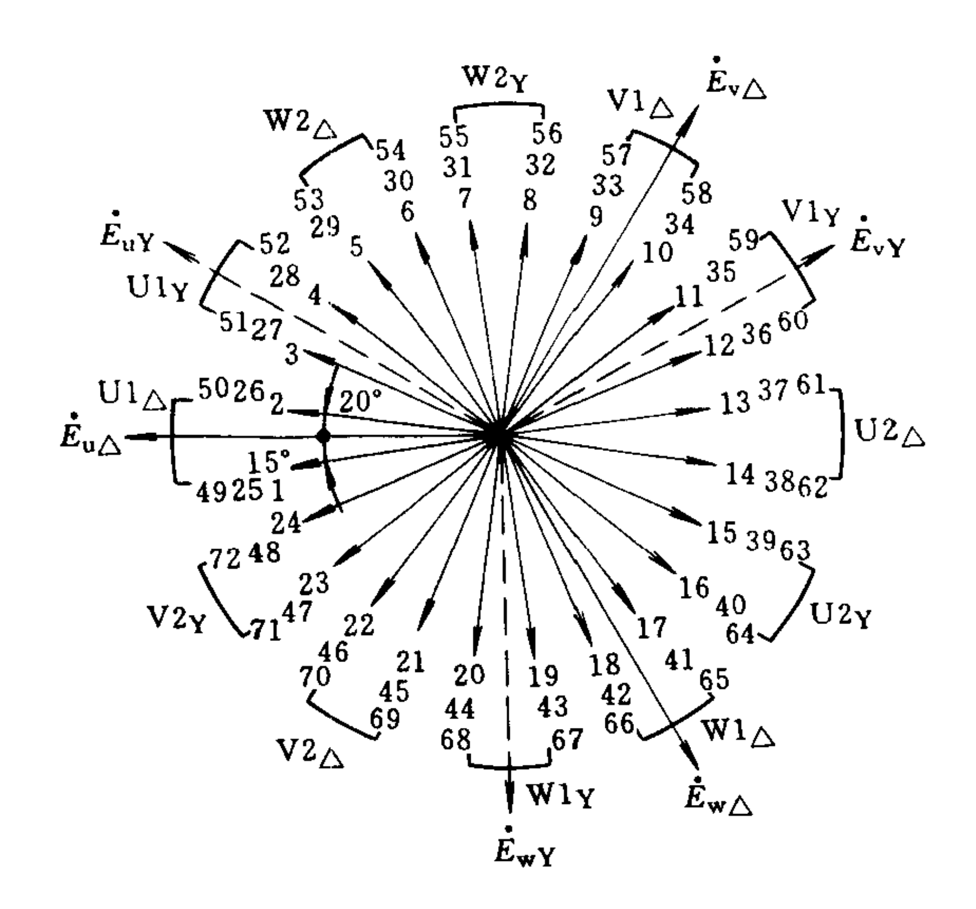


图 5-29　$Q_1=72$、$2p=6$ 槽电动势星形及正弦绕组的排列

三角形部分每槽导体数 $z_\triangle=0.94z_Q=0.94\times28=26.3$，取 $z_\triangle=26$。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=3$。

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.94\times\dfrac{2}{\sqrt{3}}z_Q=0.94\times\dfrac{2}{\sqrt{3}}\times28=30.4$，取 $z_Y=30$。

三角形部分每槽导体数 $z_\triangle=0.94\times2z_Q=0.94\times2\times28=52.6$，取 $z_\triangle=52$。

因为双层绕组每线圈匝数为每槽导体数的一半，所以正弦绕组为延边三角形联结时：

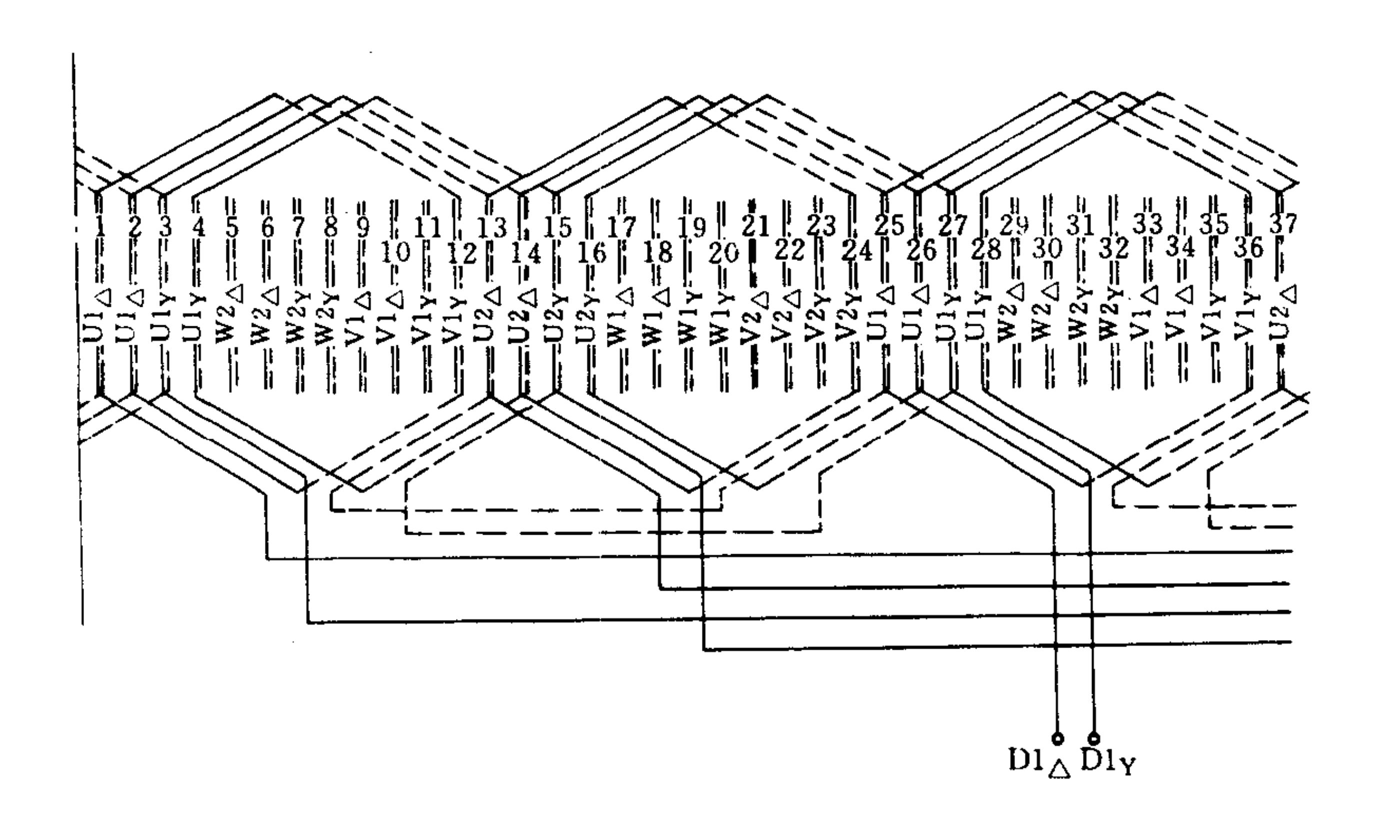
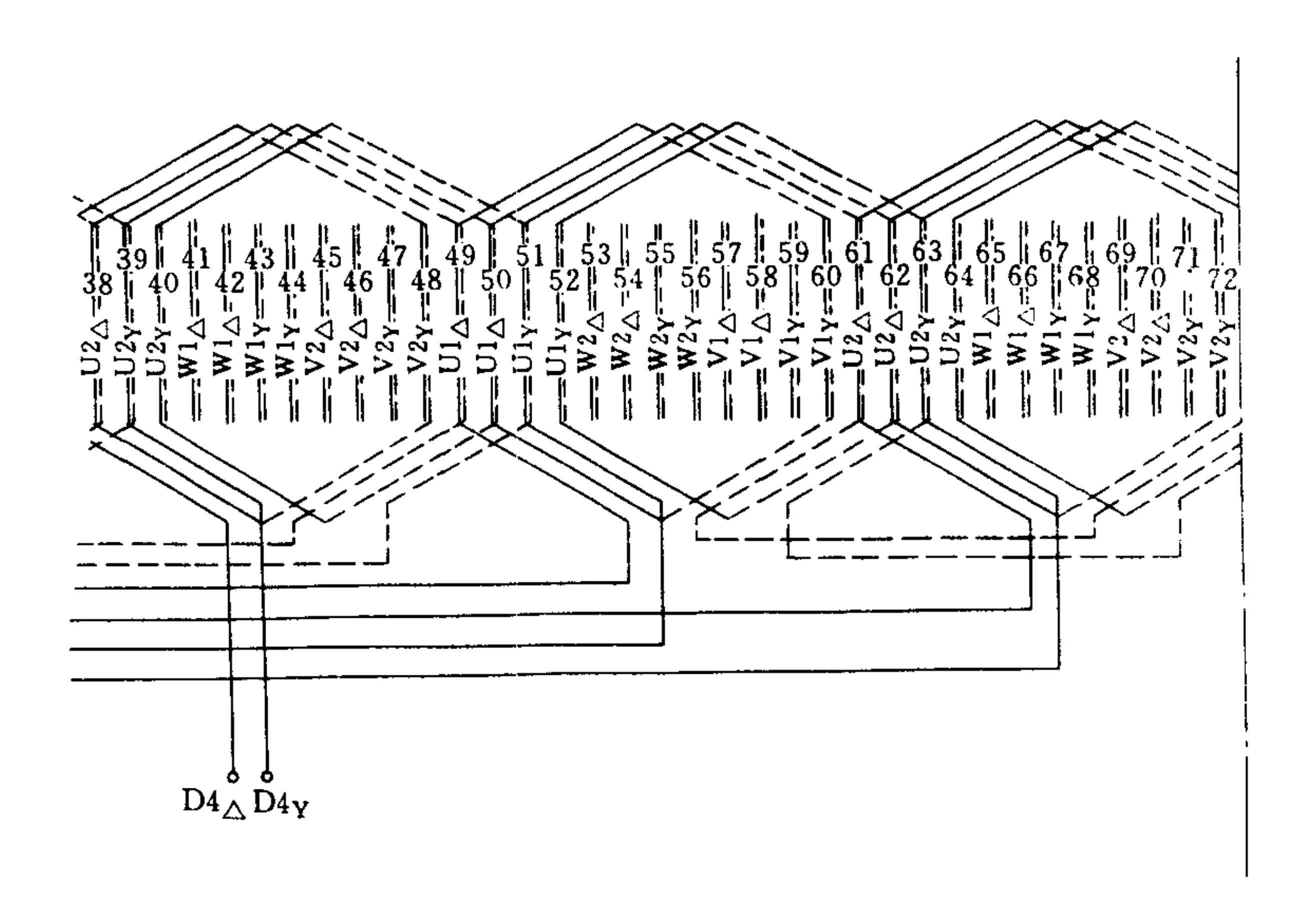


图 5-30 $Q_1=72$、$2p=6$ 正弦绕组中三角形

($a_{\triangle}=a_{Y}$



与星形部分 U 相绕组平面展开图

=3)

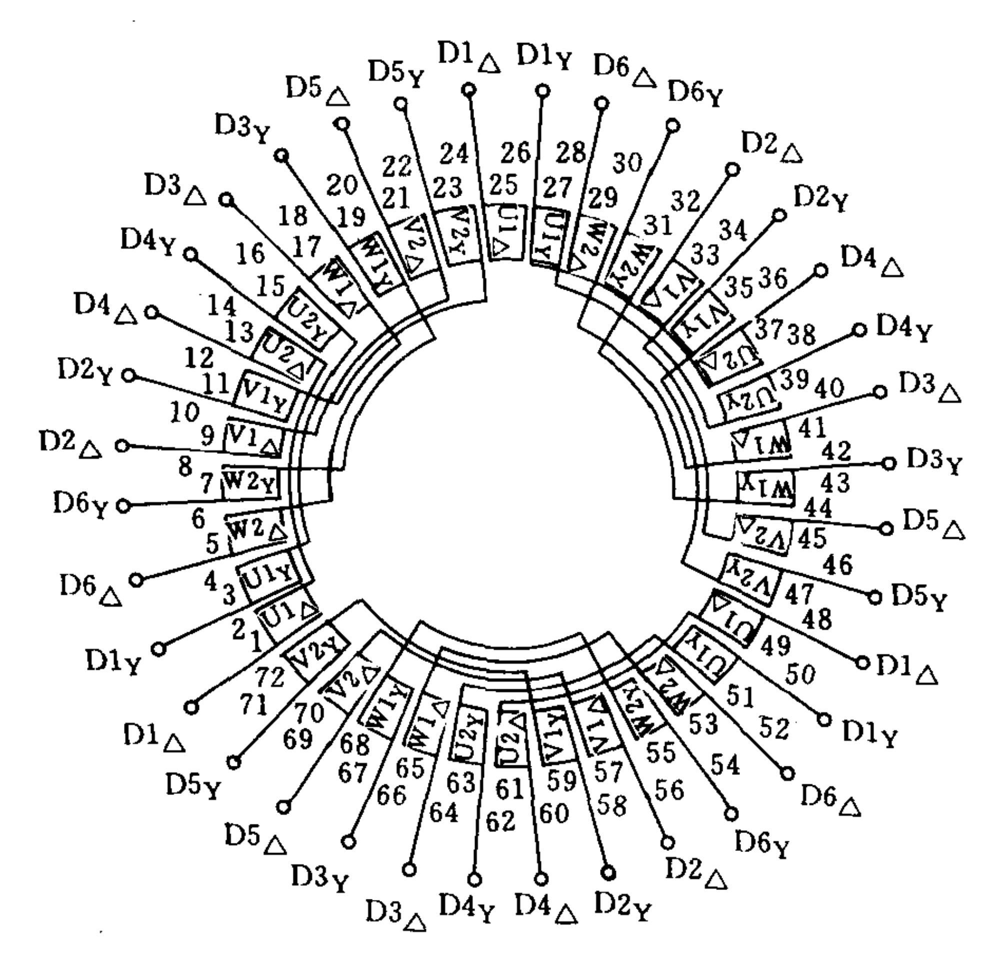


图 5-31　$Q_1=72$、$2p=6$ 正弦绕组接线图

($a_{\triangle}=a_{Y}=3$)

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=8$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=13$。

正弦绕组为星形—三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=15$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=26$。

(2) 导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=3$，导线线规为 1—ϕ1.12mm、2—ϕ1.18mm，其截面积为 $A_c=3.171\text{mm}^2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=3$。

星形部分导线截面积 $A_Y=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}\times3.171mm^2=5.843mm^2$。

选用线规 1—ϕ1.08mm、3—ϕ1.40mm。

三角形部分导线截面积 $A_\triangle=\frac{1}{0.94}A_c=\frac{1}{0.94}\times3.171mm^2=3.373mm^2$。

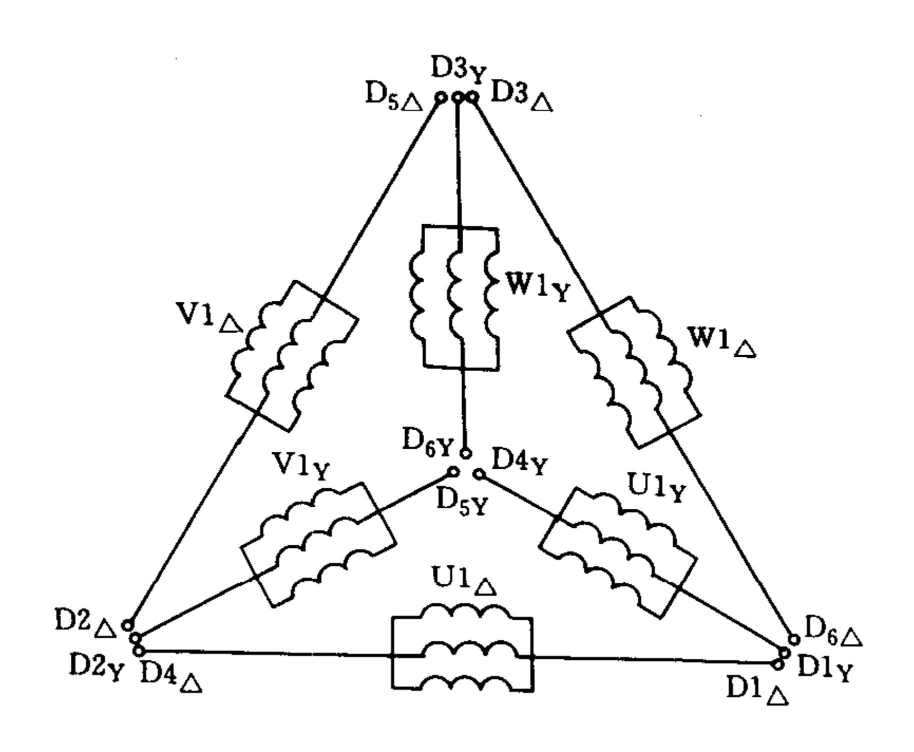


图 5-32 正弦绕组星形—三角形联结

($a_\triangle=a_Y=3$)

选用线规 2—ϕ1.18mm、1—ϕ1.25mm。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=3$。

星形部分导线截面积 $A_Y=\frac{1}{0.94}\times\frac{\sqrt{3}}{2}A_c=\frac{1}{0.94}\times\frac{\sqrt{3}}{2}\times3.171mm^2=2.921mm^2$。

选用线规　1—ϕ1.35mm、1—ϕ1.40mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2}A_c=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2}\times3.171\text{mm}^2=1.687\text{mm}^2$。

选用线规　2—ϕ1.04mm。

（3）线圈节距

$$Y=\frac{11}{12}\tau_p=\frac{11}{12}\times12=11$$

式中，$\tau_p=\frac{Q_1}{2p}=\frac{72}{6}=12$。

例 18　试将一台 Y—132S—8 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=48$
每槽导体数	$z_Q=38$
导线线规	1—ϕ1.12mm
绕组形式	单层链式绕组
接法	Y
并联支路数	$a=1$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{48}{8\times3}=2$ 为偶数，正弦绕组分别按三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_{\triangle}=q_{Y}=\frac{q}{2}=\frac{2}{2}=1$ 来进行排列。三角形部分和星形部分绕组都采用单层链式绕组。其绕组排列和联结见图 5-33。再将三角形部分与星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 3-12，或接成星形—三角形，见图 3-13。

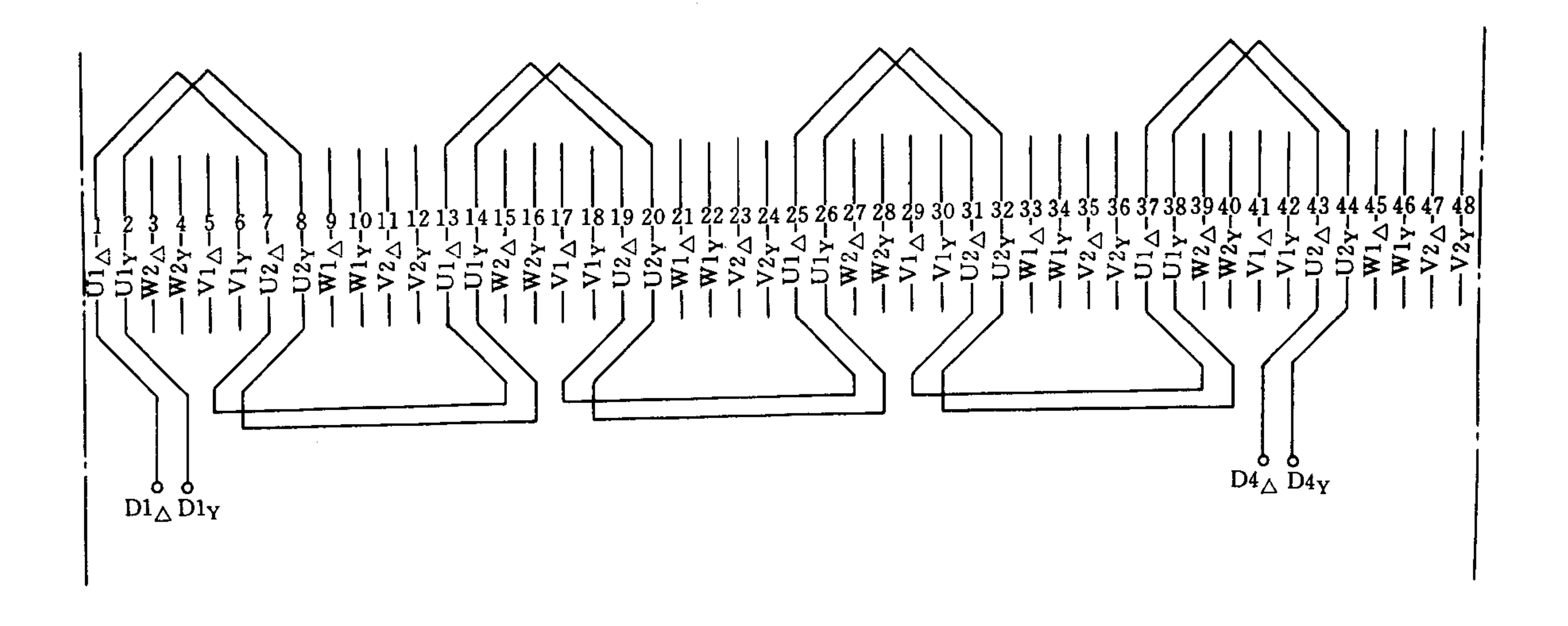


图 5-33　$Q_1=48$、$2p=8$ 正弦绕组中三角形与星形部分 U 相绕组平面展开图

（$a_{\triangle}=a_{Y}=1$）

2. 正弦绕组的绕组数据确定

(1) 每线圈匝数　原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，每槽导体数为 $z_Q=38$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.97z_Q=0.97\times38=36.9$，取 $z_Y=37$。

三角形部分每槽导体数 $z_\triangle=0.97\times\sqrt{3}z_Q=0.97\times\sqrt{3}\times38=63.8$，取 $z_\triangle=64$。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.97\times2z_Q=0.97\times2\times38=73.7$，取 $z_Y=74$。

三角形部分每槽导体数 $z_\triangle=0.97\times2\sqrt{3}z_Q=0.97\times2\sqrt{3}\times38=127.7$，取 $z_\triangle=128$。

因为单层绕组每线圈匝数等于每槽导体数，所以正弦绕组为延边三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=37$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=64$。

正弦绕组为星形—三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=74$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=128$。

(2) 导线线规　原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，导线线规为 1—ϕ1.12mm，其截面积 $A_c=0.985\text{mm}^2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分导线截面积 $A_{Y}=\frac{1}{0.97}A_{c}=\frac{1}{0.97}\times 0.985\text{mm}^2=1.015\text{mm}^2$。

选用线规 1—ϕ1.12mm。

三角形部分导线截面积 $A_{\triangle}=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}A_{c}=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 0.985\text{mm}^2=0.586\text{mm}^2$。

选用线规 1—ϕ0.86mm。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分导线截面积 $A_{Y}=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}A_{c}=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}\times 0.985\text{mm}^2=0.508\text{mm}^2$。

选用线规 1—ϕ0.80mm。

三角形部分导线截面积 $A_{\triangle}=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2\sqrt{3}}A_{c}=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2\sqrt{3}}\times 0.985\text{mm}^2=2.293\text{mm}^2$。

选用线规 1—ϕ0.62mm。

例 19 试将一台 Y—160M1—8 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=48$
每槽导体数	$z_Q=49$
导线线规	1—ϕ1.25mm
绕组形式	单层链式绕组

接法　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　$\triangle$

并联支路数　　　　　　　　　　　　　　　　$a=1$

解

1．正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{48}{8\times 3}=2$ 为偶数，正弦绕组分别按三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_{\triangle}=q_{Y}=\frac{q}{2}=\frac{2}{2}=1$ 来进行排列。三角形部分和星形部分绕组都采用单层链式绕组。其绕组排列和联结见图 5-33。再将三角形部分与星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 3-12，或星形—三角形，见图 3-13。

2．正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=1$，每槽导体数为 $z_Q=49$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 49=27.4$，取 $z_Y=27$。

三角形部分每槽导体数 $z_{\triangle}=0.97z_Q=0.97\times 49=47.5$，取 $z_{\triangle}=48$。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.97\times\frac{2}{\sqrt{3}}z_Q=0.97\times\frac{2}{\sqrt{3}}\times 49=54.9$，取 $z_Y=55$。

三角形部分每槽导体数 $z_{\triangle}=0.97\times2z_{Q}=0.97\times2\times49=95.1$，取 $z_{\triangle}=95$。

因为单层绕组每线圈匝数等于每槽导体数，所以正弦绕组为延边三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=27$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=48$。

正弦绕组为星形—三角形联结时：

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=55$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=95$。

（2）导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=1$，导线线规为 1—ϕ1.25mm，其截面积为 $A_c=1.227\text{mm}^2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

正弦绕组为延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分导线截面积　$A_{Y}=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}\times1.227\text{mm}^2=2.191\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.18mm、1—ϕ1.20mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times1.227\text{mm}^2=1.265\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.25mm。

正弦绕组为星形—三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=1$。

星形部分导线截面积　$A_{Y}=\frac{1}{0.97}\times\frac{\sqrt{3}}{2}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{\sqrt{3}}{2}\times1.227\text{mm}^2=1.095\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.18mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}\times1.227\text{mm}^2=0.632\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ0.90mm。

例 20　试将一台 Y—180L—8 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=54$
每槽导体数	$z_Q=46$
导线线规	2—ϕ0.90mm
绕组形式	双层叠绕组
接法	△
并联支路数	$a=2$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{54}{8\times3}$ 为 $2\frac{1}{4}$，既非偶数，也非奇数，而为分数，这种绕组称为分数槽绕组。我们以本例来说明分数槽正弦绕组的排列和联结方法。

（1）由定子槽数 $Q_1=54$、极数 $2p=8$，算出每槽电角度

$$\alpha=\frac{2p\times180^\circ}{Q_1}=\frac{8\times180^\circ}{54}=26.67^\circ$$

作出电动势星形图，见图 5-34。

（2）利用槽电动势星形图确定正弦绕组的排列　三相绕组按每极每相槽数 $q=2\frac{1}{4}$，根据分数槽分配规律进行排列。而正弦绕组分别按三角形部分和星形部分每极每相槽数 $q_{\triangle}$

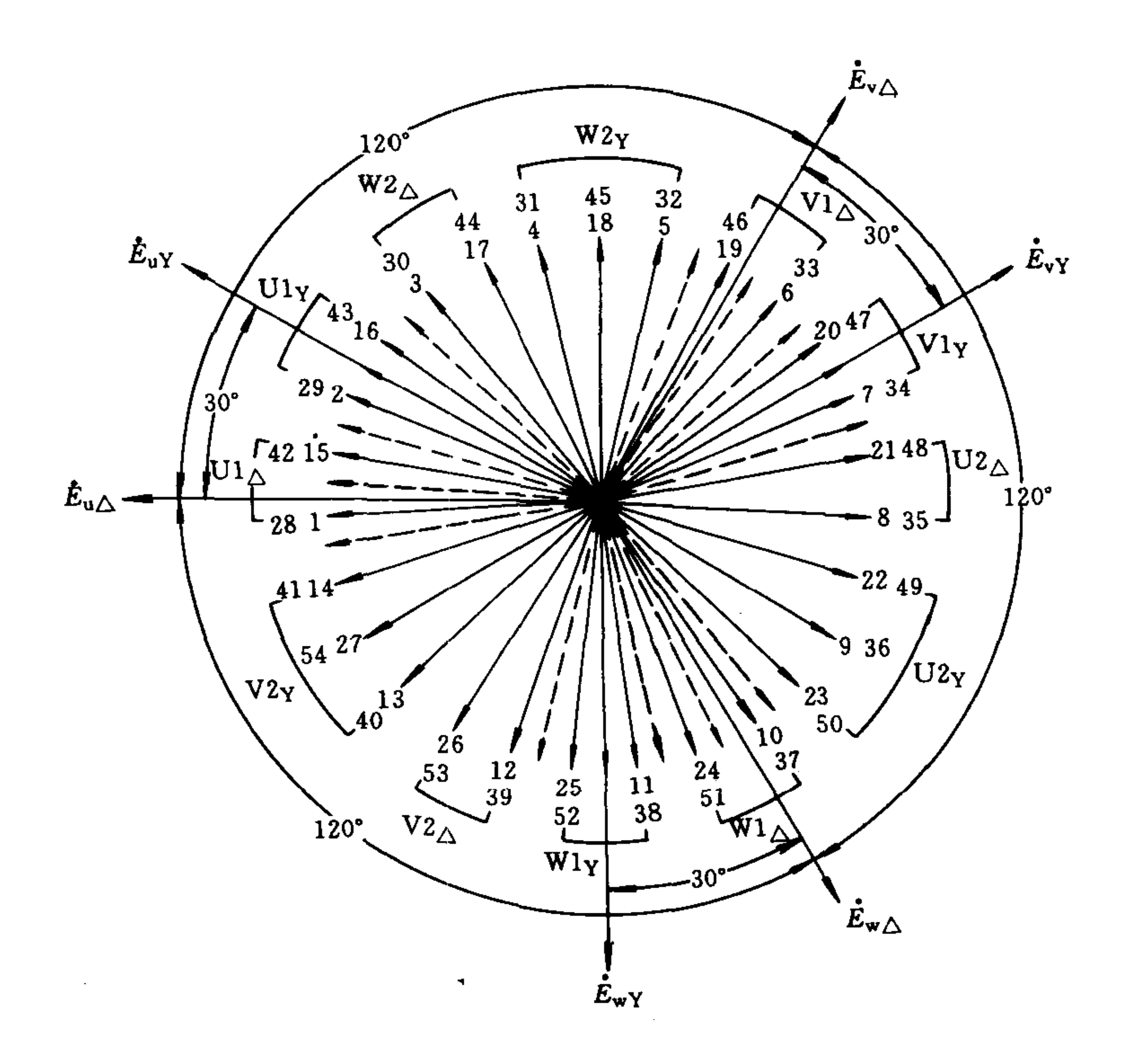


图 5-34 $Q_1=54$、$2p=8$ 电动势星形图及正弦绕组的排列

和 q_Y 来进行排列。根据三相绕组分数槽分配规律，在每极每相槽数 $q=2$ 时，取 $q_\triangle=q_Y=\frac{q}{2}=\frac{2}{2}=1$；而在 $q=3$ 时，则取 $q_\triangle=1$、$q_Y=2$。其正弦绕组槽数分配见表 5-1。从表中可以看出，1 号槽属于 U1 相三角形部分，以 $U1_\triangle$ 表示；2 号槽属于 U1 相星形部分，以 $U1_Y$ 表示；3 号槽属于 W1 相三角形部分，以 $W2_\triangle$ 表示；4 号和 5 号槽则属于 W2 相星形部分，以 $W2_Y$

表示。依此类推。其相带顺序仍为$U1_{\triangle}$、$U1_{Y}$、$W2_{\triangle}$、$W2_{Y}$、$V1_{\triangle}$、$V1_{Y}$、$U2_{\triangle}$、$U2_{Y}$、$W1_{\triangle}$、$W1_{Y}$、$V2_{\triangle}$、$V2_{Y}$。

表 5-1

磁极	N						S					
三相绕组排列	U1		W2		V1		U2		W1		V2	
	2		3		2		2		2		3	
正弦绕组排列	$U1_{\triangle}$	$U1_{Y}$	$W2_{\triangle}$	$W2_{Y}$	$V1_{\triangle}$	$V1_{Y}$	$U2_{\triangle}$	$U2_{Y}$	$W1_{\triangle}$	$W1_{Y}$	$V2_{\triangle}$	$V2_{Y}$
	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
磁极	N						S					
三相绕组排列	U1		W2		V1		U2		W1		V2	
	2		2		2		3		2		2	
正弦绕组排列	$U1_{\triangle}$	$U1_{Y}$	$W2_{\triangle}$	$W2_{Y}$	$V1_{\triangle}$	$V1_{Y}$	$U2_{\triangle}$	$U2_{Y}$	$W1_{\triangle}$	$W1_{Y}$	$V2_{\triangle}$	$V2_{Y}$
	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
磁极	N						S					
三相绕组排列	U1		W2		V1		U2		W1		V2	
	2		3		2		2		2		3	
正弦绕组排列	$U1_{\triangle}$	$U1_{Y}$	$W2_{\triangle}$	$W2_{Y}$	$V1_{\triangle}$	$V1_{Y}$	$U2_{\triangle}$	$U2_{Y}$	$W1_{\triangle}$	$W1_{Y}$	$V2_{\triangle}$	$V2_{Y}$
	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
磁极	N						S					
三相绕组排列	U1		W2		V1		U2		W1		V2	
	2		2		2		3		2		2	
正弦绕组排列	$U1_{\triangle}$	$U1_{Y}$	$W2_{\triangle}$	$W2_{Y}$	$V1_{\triangle}$	$V1_{Y}$	$U2_{\triangle}$	$U2_{Y}$	$W1_{\triangle}$	$W1_{Y}$	$V2_{\triangle}$	$V2_{Y}$
	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1

（3）由槽电动势星形图和绕组排列，画出相电动势星形图　将属于同一相的槽电动势相量相加，则得到该相的相电

动势相量，见图 5-34。

从图中可以看出，三角形部分的 3 个相电动势 $\dot{E}_{u\triangle}$、$\dot{E}_{v\triangle}$、$\dot{E}_{w\triangle}$之间彼此互差 120°电角；星形部分的 3 个相电动势 $\dot{E}_{uY}$、$\dot{E}_{vY}$、$\dot{E}_{wY}$之间也彼此互差 120°电角。而且，星形部分绕组的相电动势滞后于三角形部分绕组相应相的相电动势 30°电角，即 $\dot{E}_{uY}$滞后于 $\dot{E}_{u\triangle}$30°电角，$\dot{E}_{vY}$滞后于 $\dot{E}_{v\triangle}$30°电角，$\dot{E}_{wY}$滞后于 $\dot{E}_{w\triangle}$30°电角。

（4）根据相电动势星形图及正弦绕组的排列，可以画出正弦绕组的平面展开图　见图 5-35。为了便于接线，可画出正弦绕组的接线图，见图 5-36。再将三角形部分与星形部分绕组混合接成延边三角形，见图 5-10。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$，每槽导体数为 $z_Q=46$。正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

星形部分每槽导体数 $z_Y=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times46=25$，取 $z_Y=26$。

三角形部分每槽导体数 $z_\triangle=0.94z_Q=0.94\times46=43.2$，取 $z_\triangle=44$。

因为正弦绕组三角形部分和星形部分绕组都采用双层叠绕组，每线圈匝数为每槽导体数的一半，所以

星形部分每线圈匝数 $N_{1Y}=\frac{z_Y}{2}=\frac{26}{2}=13$。

三角形部分每线圈匝数 $N_{1\triangle}=\frac{z_\triangle}{2}=\frac{44}{2}=22$。

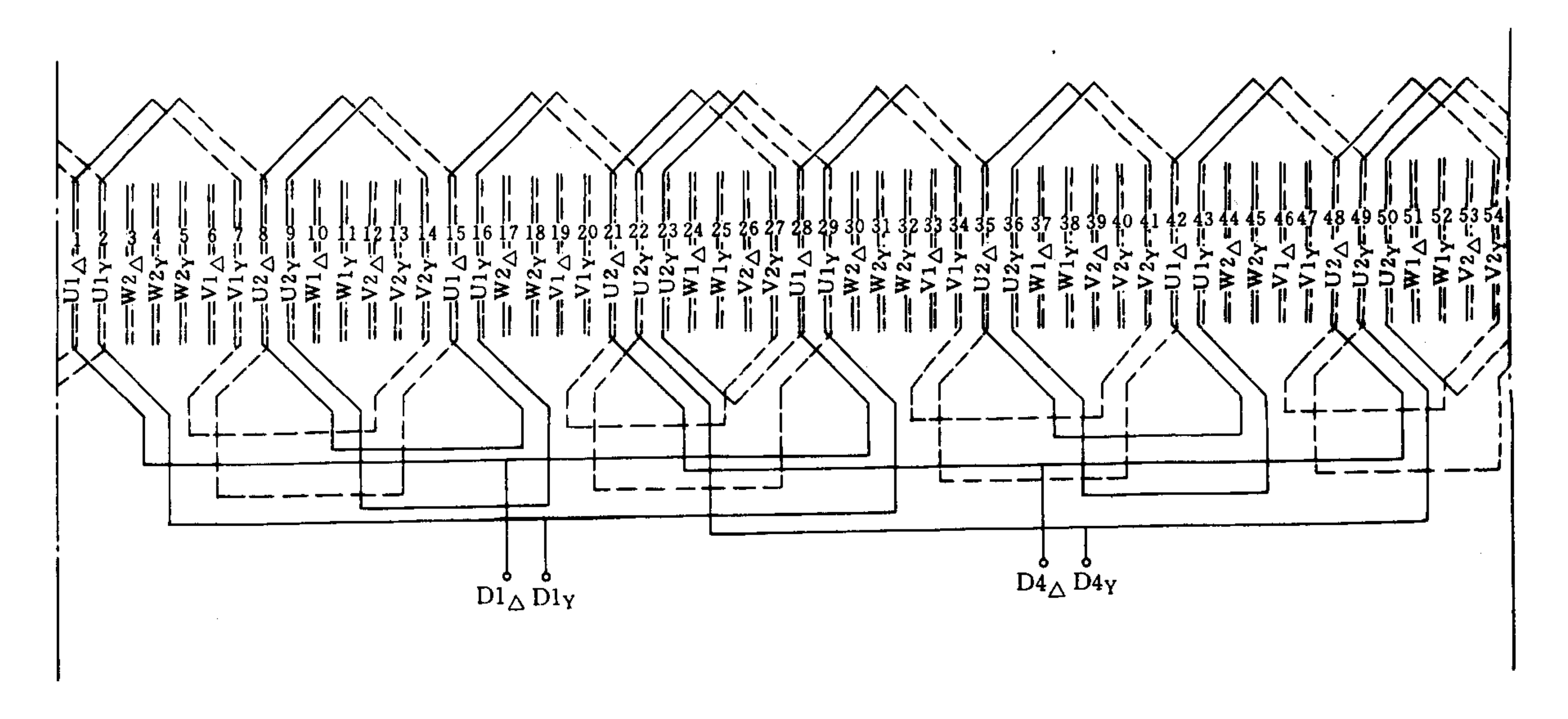


图 5-35　$Q_1=54$、$2p=8$ 正弦绕组中三角形与星形部分 U 相绕组平面展开图

$(a_{\triangle}=a_{Y}=2)$

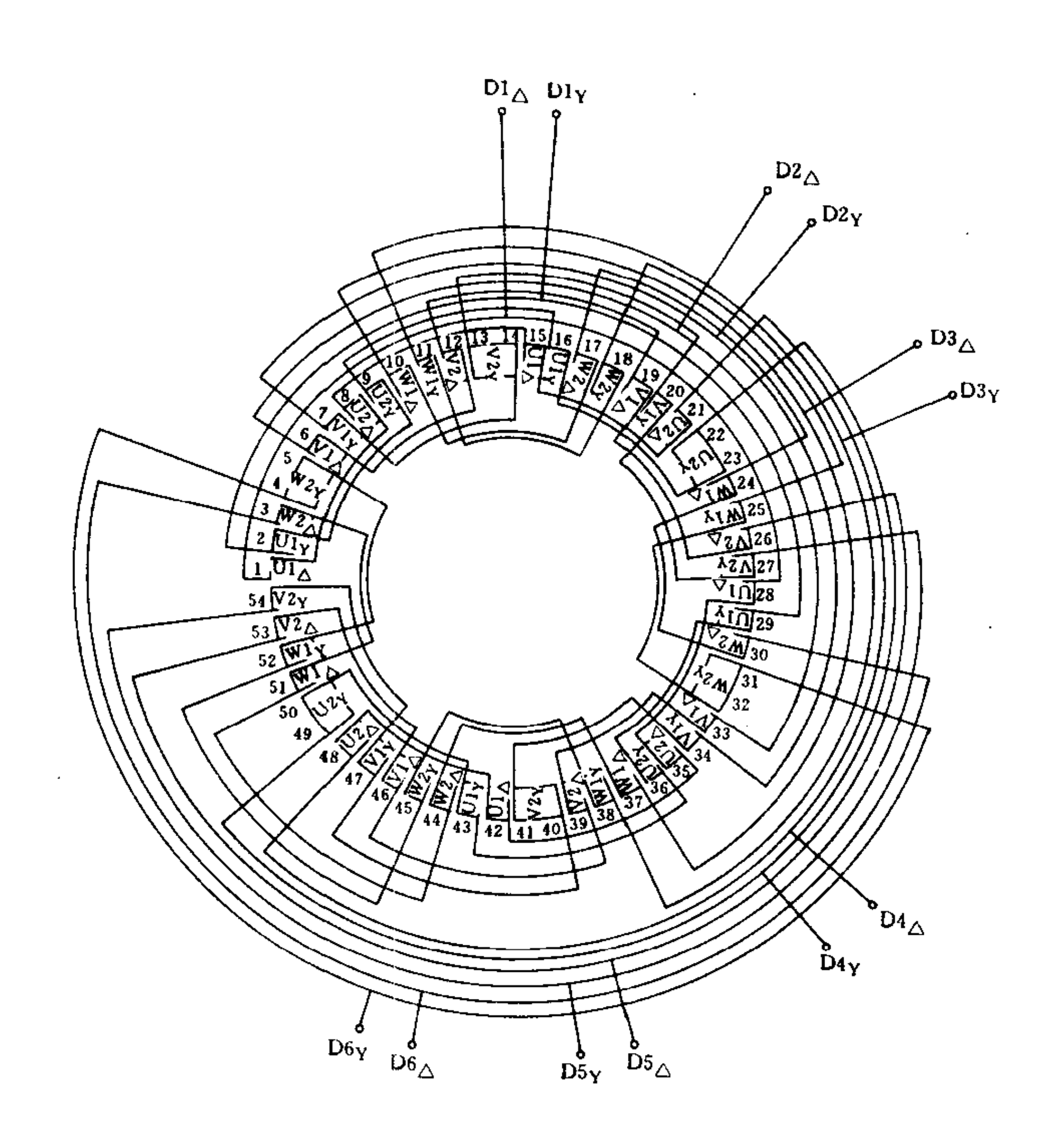


图 5-36　$Q_1=54$、$2p=8$ 正弦绕组接线图

($a_{\triangle}=a_{Y}=2$)

(2) 导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$，导线线规为 2—ϕ0.90mm，其截面积 $A_c=1.272\text{mm}^2$。正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=$

2。根据正弦绕组简易计算公式可得：

星形部分导线截面积 $A_Y=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}\times1.272\text{mm}^2=2.344\text{mm}^2$。

选用线规 2—ϕ1.20mm。

三角形部分导线截面积 $A_\triangle=\frac{1}{0.94}A_c=\frac{1}{0.94}\times1.272\text{mm}^2=1.353\text{mm}^2$。

选用线规 1—ϕ1.30mm。

（3）线圈节距

$$Y=\frac{11}{12}\tau_p=\frac{11}{12}\times6.75=6.19$$

取 $$Y=6$$

式中，$\tau_p=\frac{Q_1}{2p}=\frac{54}{8}=6.75$。

例 21 试将一台 Y—250M—8 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=72$
每槽导体数	$z_Q=22$
导线线规	3—ϕ1.30mm
绕组形式	双层叠绕组
接法	△
并联支路数	$a=2$

解

1. 正弦绕组排列和联结 原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{72}{8\times3}=3$ 为奇数，正弦绕组采用单双层混合排列，即取 $q_\triangle=2$、$q_Y=3$，绕组排列和联结见图 5-37。绕组采用延边三

角形接法，见图 5-10。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　正弦绕组采用单双层混合排列，$q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$。星形部分 3 个线圈的匝数分别为 N_{Y1}、N_{Y2}、N_{Y1}；三角形部分 2 个线圈的匝数都为 $N_{\triangle}$。为了使槽电流沿圆周呈正弦分布，星形部分和三角形部分绕组每个线圈的匝数比为 $N_{Y2}:N_{Y1}:N_{\triangle}=1:0.3472:1.1848$。首先确定 N_{Y2}，便可算得 N_{Y1}和 $N_{\triangle}$。N_{Y2}的确定仍按正弦绕组简易计算公式求得。

原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$，每槽导体数 $z_{Q}=22$，在正弦绕组中采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

$$z_{Y2}=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_{Q}=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 22=12.3$$

取
$$z_{Y2}=13$$

因为三角形部分和星形部分绕组均为单层绕组，每线圈匝数等于每槽导体数，所以

$$N_{Y2}=z_{Y2}=13$$

而
$$N_{Y1}=0.3472N_{Y2}=0.3472\times 13=4.5$$

取
$$N_{Y1}=4$$

$$N_{\triangle}=1.1848N_{Y2}=1.1848\times 13=15.4$$

取
$$N_{\triangle}=15$$

（2）导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=2$，导线线规为 3—ϕ1.30mm，其截面积为 $A_{c}=3.981\text{mm}^{2}$。现正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=2$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

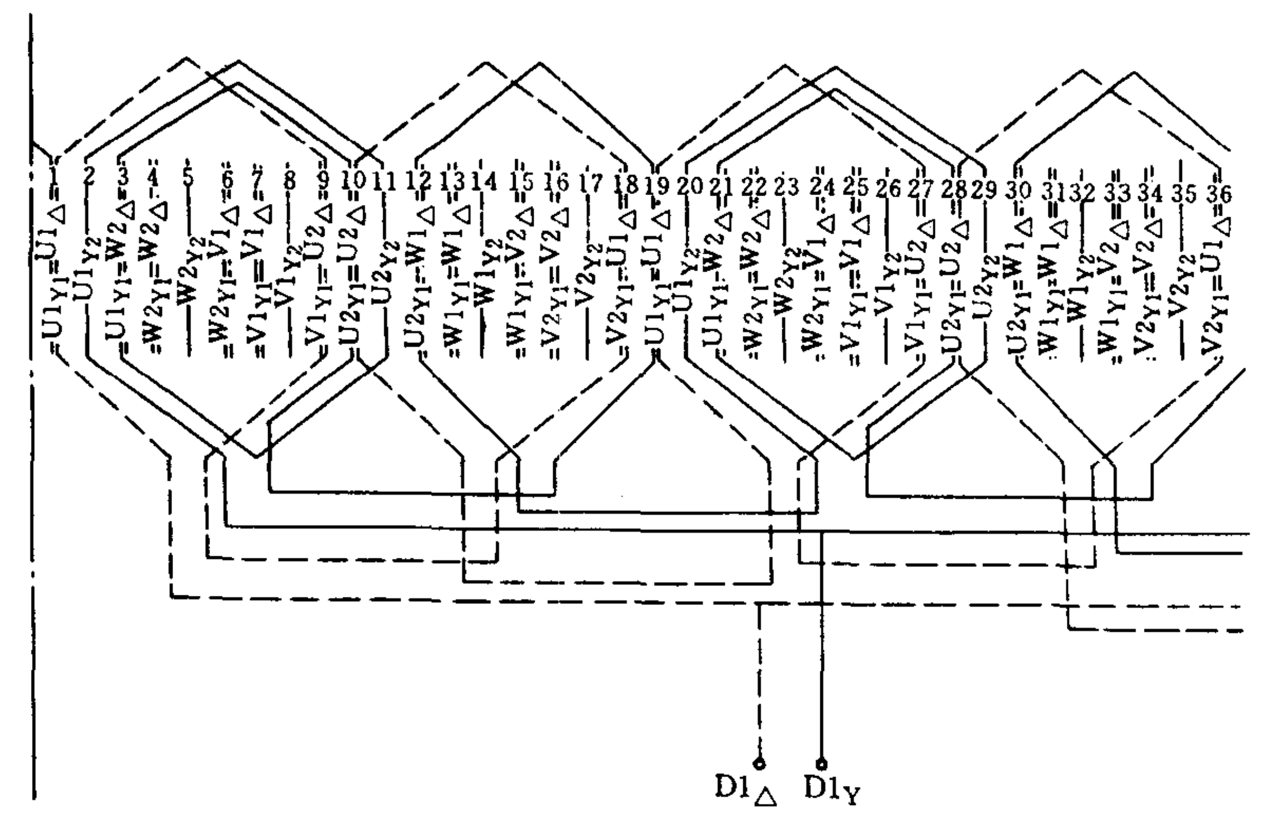


图 5-37　$Q_1=72$、$2p=8$ 正弦绕组中三角形

（$a_{\triangle}=a_{Y}$

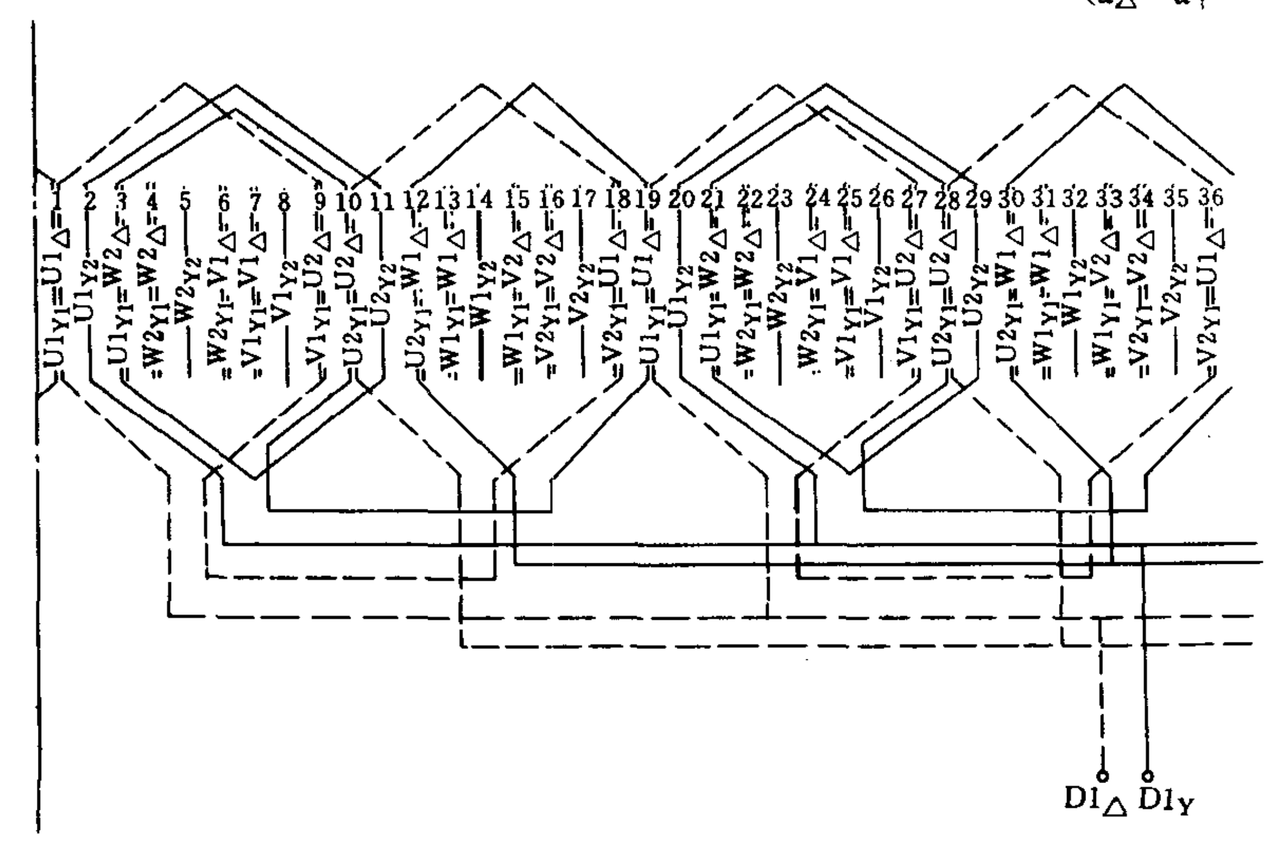
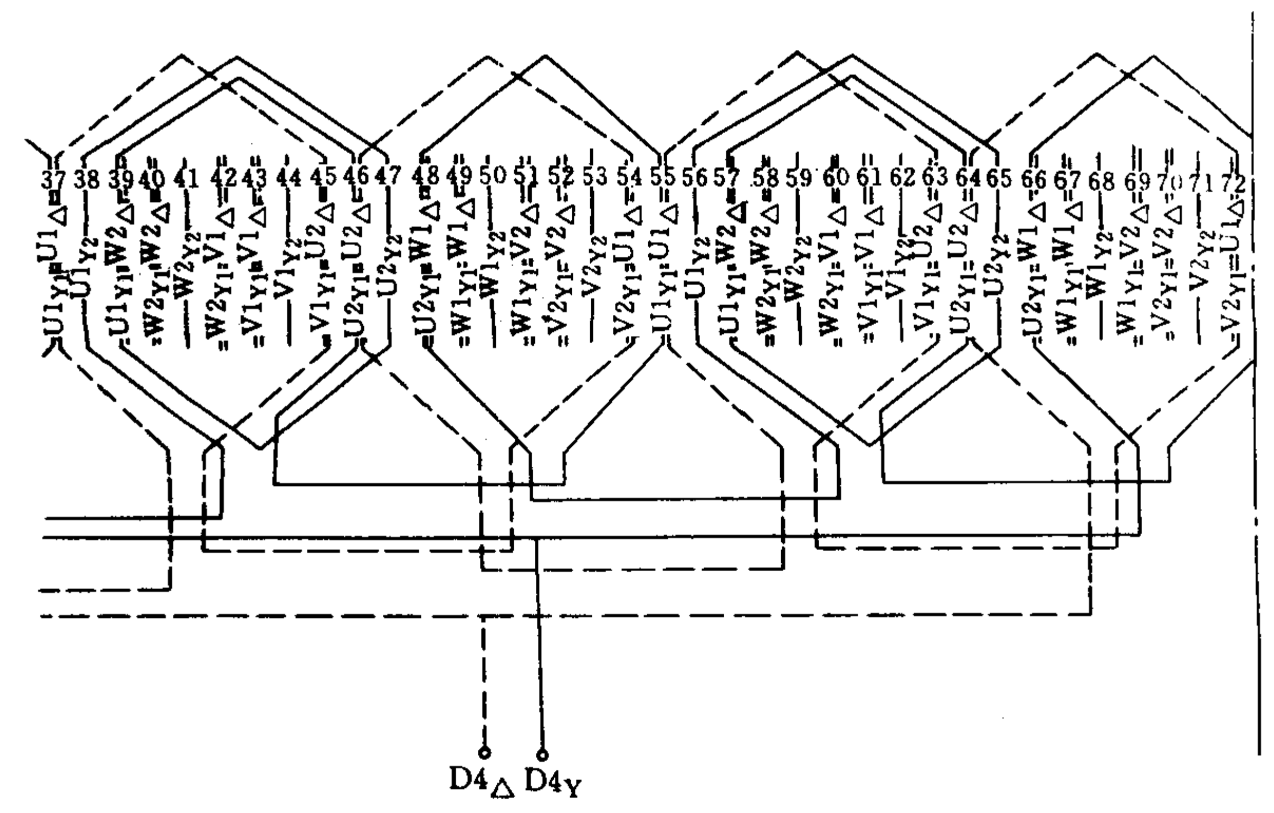
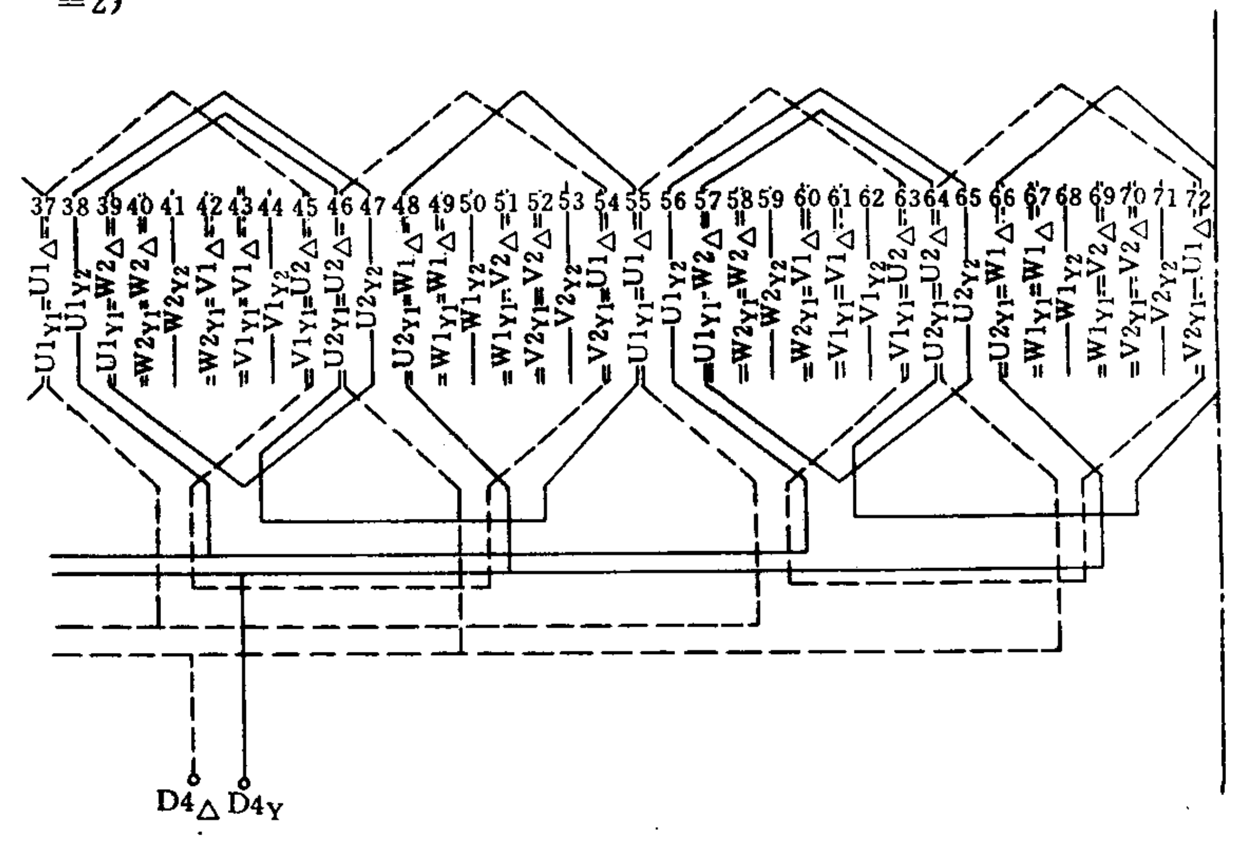


图 5-38　$Q_1=72$、$2p=8$ 正弦绕组中三角形

（$a_{\triangle}=a_{Y}$



与星形部分 U 相绕组平面展开图
=2)



与星形部分 U 相绕组平面展开图
=4)

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}\times3.981\text{mm}^2=7.108\text{mm}^2$。

选用线规　4—ϕ1.30mm、1—ϕ1.35mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times3.981\text{mm}^2=4.104\text{mm}^2$。

选用线规　3—ϕ1.30mm。

例 22　试将一台 Y—280S—8 三相异步电动机的三相绕组改制成正弦绕组。

原三相绕组数据：

定子槽数	$Q_1=72$
每槽导体数	$z_Q=40$
导线线规	2—ϕ1.30mm
绕组形式	双层叠绕组
接法	△
并联支路数	$a=4$

解

1. 正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{72}{8\times3}=3$ 为奇数，正弦绕组采用单双层混合排列，即取 $q_\triangle=2$、$q_Y=3$，绕组排列和联结见图 5-38。绕组采用延边三角形接法，见图 5-20。

2. 正弦绕组的绕组数据确定

（1）每线圈匝数　正弦绕组采用单双层混合排列，$q_\triangle=2$、$q_Y=3$，星形部分 3 个线圈的匝数分别为 N_{Y1}、N_{Y2}、N_{Y1}；三角形部分 2 个线圈的匝数都为 $N_\triangle$。为了使槽电流沿圆周呈正弦分布，星形部分和三角形部分绕组每个线圈的匝数比

为 $N_{Y2}:N_{Y1}:N_{\triangle}=1:0.3472:1.1848$。首先确定 N_{Y2}，便可算得 N_{Y1}和 $N_{\triangle}$。N_{Y2}的确定仍按正弦绕组简易计算公式求得。

原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=4$，每槽导体数为 $z_Q=40$，在正弦绕组中采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_Y=a=4$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

$$z_{Y2}=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_Q=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 40=22.4$$

取
$$z_{Y2}=22$$

因为三角形部分和星形部分绕组均为单层绕组，每线圈匝数等于每槽导体数，所以

$$N_{Y2}=z_{Y2}=22$$

而
$$N_{Y1}=0.3472N_{Y2}=0.3472\times 22=7.6$$

取
$$N_{Y1}=8$$

$$N_{\triangle}=1.1848N_{Y2}=1.1848\times 22=26.1$$

取
$$N_{\triangle}=26$$

(2) 导线线规　原三相绕组为三角形联结，并联支路数为 $a=4$，导线线规为 2—ϕ1.30mm，其截面积为 $A_c=2.654\text{mm}^2$。现正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_Y=a=4$，根据正弦绕组简易计算公式可得：

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}A_c=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}\times 2.654\text{mm}^2=4.739\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.35mm、2—ϕ1.40mm。

三角形部分导线截面积　$A_{\triangle}=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times 2.654\text{mm}^2=2.736\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.30mm、1—ϕ1.35mm。

第二节　无铭牌电动机三相绕组改制成正弦绕组

在修理旧电动机时，有的既没有铭牌，又没有原绕组，若要将原三相绕组改制成正弦绕组，首先应根据电动机铁心的有关尺寸，将原三相绕组的数据计算出来；然后再按照有铭牌电动机三相绕组改制成正弦绕组的方法步骤，进行正弦绕组排列和计算正弦绕组的数据。

一、无铭牌电动机三相绕组计算

1. 定子绕组每相匝数计算　由电动势公式

$$E = 4.44 f N_1 K_{dp} \Phi 10^{-8} = K_E U_\varphi$$

可得每相串联匝数

$$N_1 = \frac{K_E U_\varphi 10^8}{4.44 f K_{dp} \Phi}$$

由于我国电网标准频率 $f=50\text{Hz}$，故

$$N_1 = \frac{K_E U_\varphi 10^6}{2.22 K_{dp} \Phi}$$

考虑到每极磁通 $\Phi = B_p \tau_p l_e = \frac{2}{\pi} B_\delta \tau_p l_e$ 和极距 $\tau_p = \frac{\pi d_s}{2p}$，因此，每相串联匝数为

$$N_1 = \frac{p K_E U_\varphi 10^6}{2.22 K_{dp} B_\delta d_s l_e}$$

上述公式中各符号意义和选择如下：

（1）极对数 p 可按经验公式估算

$$p = 0.28 \frac{d_s}{h_{ys}}$$

式中　d_s——定子铁心内径（cm）；

h_{ys}——定子磁轭高（cm）

$$h_{ys} = \frac{d_{es} - d_s}{2} - h_{ds}$$

d_{es}——定子铁心外径（cm）；

h_{ds}——定子齿高（cm）。

根据计算结果，并参考电动机的槽数，选取相近的整数。一般槽数少的，则极数宜少；槽数多的，极数可多些。

（2）压降系数 K_E　每相电动势 E 的大小等于外加电源相电压减去绕组的阻抗压降，通常用 $E=K_EU_\varphi$ 表示。K_E 称为压降系数，其值由表 5-2 查得。

表　5-2

电动机容量 P	小　　型	中　　型	大　　型
压降系数 K_E	0.86	0.90	0.91

（3）外加电源相电压为 U_φ，单位为 V。

（4）绕组系数 K_{dp}　绕组系数 K_{dp} 综合考虑了由于绕组的分布和短距对电动势的影响。

$$K_{dp}=K_dK_p$$

式中　K_d——分布系数，其值由表 5-3 查得；

K_p——短距系数，其值可由表 5-4 查得。

表　5-3

每极每相槽数 q	1	2	3	4	5	6	7 以上
分布系数 K_d	1.0	0.966	0.96	0.958	0.957	0.956	0.956

（5）气隙磁通密度 B_δ[1]　气隙磁通密度 B_δ 的值选取是否恰当，对电动机的性能影响很大，其值可查表 5-5。三相异步电动机的气隙磁通密度/Gs。

[1] 1Gs=10^{-4}T。

表 5-4

线圈节距 Y	每极槽数												
	24	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
1-25	1.000												
1-24	0.998												
1-23	0.991												
1-22	0.981												
1-21	0.966												
1-20	0.947												
1-19	0.924	1.000											
1-18	0.897	0.996											
1-17	0.866	0.985	1.000										
1-16	0.832	0.966	0.995	1.000									
1-15	0.793	0.940	0.981	0.995	1.000								
1-14	0.752	0.906	0.956	0.978	0.994	1.000							
1-13	0.707	0.866	0.924	0.951	0.975	0.993	1.000						
1-12		0.819	0.882	0.914	0.944	0.971	0.991	1.000					
1-11		0.766	0.831	0.866	0.901	0.935	0.966	0.990	1.000				
1-10		0.707	0.773	0.809	0.847	0.884	0.924	0.960	0.988	1.000			
1-9			0.707	0.743	0.782	0.833	0.866	0.910	0.951	0.985	1.000		
1-8				0.669	0.707	0.749	0.793	0.841	0.891	0.940	0.981	1.000	
1-7						0.663	0.707	0.756	0.809	0.866	0.924	0.975	1.000
1-6								0.655	0.707	0.766	0.832	0.901	0.966
1-5										0.643	0.703	0.782	0.866
1-4												0.624	0.707

电动机容量较大的取较大值，容量较小的取较小值。1kW以下的电动机则比表列数值更低，一般约为4000Gs～6000Gs。

选取气隙磁通密度时，还必须考虑气隙尺寸的大小。在修理旧电动机时，往往遇到气隙过大的情况，此时必须适当降低磁通密度，以保证电动机的空载电流不致于过大和功率因数不致于过低。

（6）定子铁心内径为 d_s，单位为cm。

（7）定子铁心有效长度为 l_e，单位为cm。

设每相并联支路数为 a，则每相绕组匝数

$$N = aN_1$$

表 5-5

极对数 p / 电动机形式	1	2	3	4
开启式	6300～7500	7000～8000	7000～8000	7000～8000
封闭式	5000～6500	6000～7500	6000～7500	6400～7400

并联支路数 a 的选择，根据导线规格和工艺要求来决定。一般小容量电动机采用一路串联（即 $a=1$）。电动机容量较大时，每相电流增大，所需导线截面积也增大。为了避免绕线时并绕根数过多，常采用多路并联。例如，在4极电动机中，可采用2路或4路并联（即 $a=2$ 或 $a=4$）；在6极电动机中，可采用2路、3路或6路并联。并联支路数 a 一定是极数 $2p$ 的公约数。

2. 每槽导体数的确定　由于每相匝数 $N=aN_1$，而一匝由2根导体组成，所以每相导体数为 $2aN_1$，三相总导体数则为 $3\times2aN_1=6aN_1$。例如定子铁心槽数为 Q_1，则每槽导体数

为

$$z_Q = \frac{6aN_1}{Q_1}$$

式中　a——并联支路数；

N_1——每相串联匝数。

z_Q 的数值必须是整数。如果计算出的数值不是整数时，应选取相近的整数。若是双层绕组，z_Q 的数值还应是偶数，否则无法分为上下两层。

在双层绕组中，每一槽中有上下 2 个线圈边，因此每个线圈的匝数 N_y 为

$$N_y = \frac{z_Q}{2}$$

而绕组线圈总数等于 Q_1，因此每相线圈数为$\frac{Q_1}{3}$。

在单层绕组中，每一槽内只有 1 个线圈边，因此每个线圈的匝数 N_y 为

$$N_y = z_Q$$

而绕组线圈总数为$\frac{Q_1}{2}$，因此每相线圈数为$\frac{Q_1}{6}$。

3. 导线截面积的计算　对于无铭牌电动机，导线截面积可根据定子铁心槽形来计算。

导线绝缘后的外径（mm）

$$d_0 = \sqrt{\frac{Ak_Q}{z_Q N}}$$

式中　A——槽有效面积（mm^2）。其计算公式为

$$A = A_s - A_i$$

其中，A_s 称为槽楔下的槽面积。对于梨形槽（图 5-39a）和梯形槽（图 5-39b）计算公式如下：

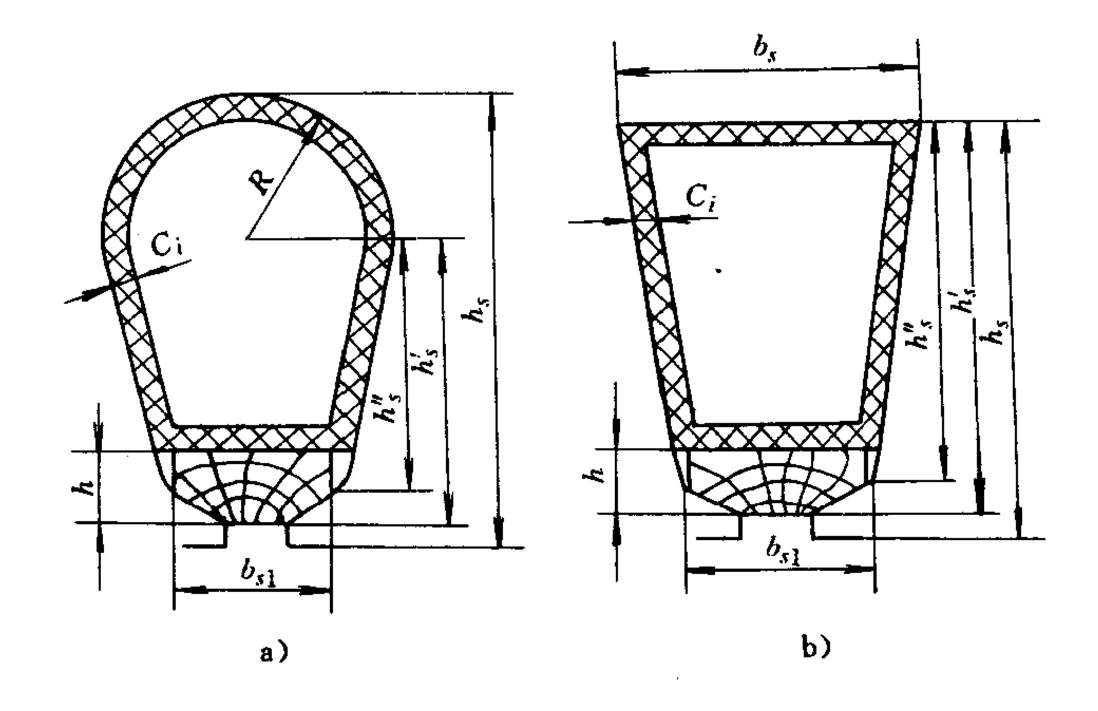


图 5-39 槽形尺寸

a）梨形槽 b）梯形槽

h—槽楔厚度 C_i—绝缘厚度 A_i—槽绝缘所占面积

梨形槽：$A_s=\dfrac{2R+b_{s1}}{2}$（$h_s'-h$）$+\dfrac{\pi R^2}{2}$

梯形槽：$A_s=\dfrac{b_s+b_{s1}}{2}$（$h_s'-h$）

单层绕组槽绝缘所占面积：

梨形槽：$A_i=C_i$（$2h_s'+\pi R$）

梯形槽：$A_i=C_i$（$2h_s'+b_s$）

双层绕组槽绝缘所占面积：

梨形槽：$A_i=C_i$（$2h_s'+\pi R+2R+b_{s1}$）

梯形槽：$A_i=C_i$（$2h_s'+2b_s+b_{s1}$）

其中，C_i——槽绝缘材料厚度（mm）。

k_Q——槽满率，可取 0.75～0.78。槽满率是表示

导线在槽内填充程度的一个重要参数。槽满率过高，将会引起嵌线困难，容易使嵌线绝缘受损，造成绝缘击穿或绕组短路等故障。槽满率过低，槽的利用率差，将降低电动机容量。

z_Q——每槽导体数。

N——导体并绕根数。

根据计算的 d_0 及绝缘导线品种（漆包线或单丝漆包线），由表 5-6 查得各种圆电磁线绝缘厚度（双边厚度），再由附录 C 查得导线的直径 d 及每根导线的截面积 S_1。

4. 估算电动机的额定功率　每相电流（A）

$$I_\varphi = S_1 N a J$$

式中　J——电流密度（A/mm^2）。可由表 5-7 中小型异步电动机定子电流密度 $J/A \cdot mm^{-2}$查得。

表中数据较适用于系列产品。对于早年及非系列产品，应酌情减低 10%～15%。一般功率小的取大值，功率大的取小值。

估算电动机的额定功率（kW）

$$P_N = 3U_\varphi I_\varphi \cos\varphi\eta \times 10^{-3}$$

式中　U_φ——电动机的相电压（V）；

I_φ——电动机的相电流（A）；

$\cos\varphi$——功率因数；

η——效率。

功率因数 $\cos\varphi$ 和效率 η，可参考同类型电动机选取。

估算出来的功率 P_N 不可能很准确，须待电动机修好后，在有负载时可根据温升及性能情况再确定其额定功率。

例 23　有一台防护式异步电动机，铭牌及绕组数据均已

表 5-6 (mm)

导线直径 / 绝缘厚度 / 导线名称	0.51~0.69	0.72~0.96	1.0~1.62	≥1.68
氧化膜铝线	0.02	0.02	0.02	0.02
高强度漆包线（聚酯、缩醛、彩色聚酯、彩色聚氨酯）	$\frac{0.03}{0.05}$	$\frac{0.04}{0.06}$	$\frac{0.06}{0.08}$	$\frac{0.07}{0.09}$
单玻璃丝漆包线（聚酯、缩醛）	0.20	0.22	0.22	0.24
双玻璃丝包线（硅有机、醇酸）	0.25	0.25	0.27	0.28
聚酰胺-亚胺高强度漆包线	0.03	0.04	0.06	0.07
耐冷冻剂漆包线	0.05	0.06	0.08	0.09

表 5-7

极数 / 电动机形式	2	4	6	8
封闭式	4.0~4.5	4.5~5.5		4.0~5.0
开启式	5.0~6.0	5.5~6.5		5.0~6.0

遗失。实测电动机定子铁心的外径 d_{es}为 368mm，内径 d_s 为 230mm，定子槽数 Q_1 为 36，铁心长度 l_{Fe}为 105mm，定子齿高 h_{ds}约为 30mm。检查电动机铁心装压紧密，质量较好。若绕组采用星形接法，试求（1）每槽导体数；（2）确定导线规

格和电动机容量；（3）将三相绕组改制成正弦绕组。

解

1. 每槽导体数　由于铭牌已遗失，首先要确定电动机极数，可按下列经验公式估算

$$p = 0.28\frac{d_s}{h_{ys}} = 0.28 \times \frac{23}{3.9} = 1.65$$

式中，$h_{ys} = \frac{d_{es}-d_s}{2} - h_{ds} = \frac{36.8-23}{2} - 3.0 = 3.9\text{cm}$。

电动机的极对数不可能为小数，根据定子槽数，选取 $p=2$，即可重绕为 4 极电动机。

（1）极距　$\tau_p = \frac{\pi d_s}{2p} = \frac{3.14\times23}{4} = 18\text{cm}$

（2）选取气隙磁密 B_δ　因为铁心质量较好，且为防护式，查表 5-5 取 $B_\delta = 7500\text{Gs}$。

（3）计算每极磁通 Φ

$$\Phi = 0.637B_\delta\tau_p l_{Fe} = 0.637 \times 7500 \times 18 \times 10.5 = 9.05 \times 10^5 \quad \text{Mx}$$ ㊀

（4）求绕组系数 K_{dp}　由于 $q = \frac{Q_1}{2pm} = \frac{36}{4\times3} = 3$，查表 5-3 得 $K_d = 0.96$；采取双层短距绕组，$\tau_p = \frac{Q_1}{2p} = \frac{36}{4} = 9$，$Y = \frac{5}{6}\tau_p = \frac{5}{6}\times9 = 7.5$，取 $Y=7$，即跨距 1—8，查表 5-4 得 $K_p = 0.94$，所以，绕组系数为

$$K_{dp} = K_dK_p = 0.96 \times 0.94 = 0.90$$

（5）选取压降系数 K_E　由于电动机铁心较小，容量不大，查表 5-2 取 $K_E = 0.86$。

㊀ $1\text{Mx} = 10^{-8}\text{Wb}$。

（6）计算每相串联匝数 N_1　绕组采用星形接法，额定电压为 380V，因此得相电压 $U_\varphi=\frac{380}{\sqrt{3}}=220\text{V}$。

$$N_1=\frac{K_E U_\varphi 10^6}{2.22K_{dp}\Phi}=\frac{0.86\times 220\times 10^6}{2.22\times 0.9\times 9.05\times 10^5}=104\quad 匝$$

若采用两路并联，即 $a=2$，则每相绕组总匝数为

$$N=aN_1=2\times 104=208\quad 匝$$

（7）求每槽导体数 z_Q

$z_Q=\frac{6aN_1}{Q_1}=\frac{6\times 2\times 104}{36}=34.67$，取 $z_Q=34$（偶数）。

（8）每相线圈个数　$\frac{Q_1}{3}=\frac{36}{3}=12$ 个。

（9）每个线圈匝数 N_y

$$N_y=\frac{z_Q}{2}=\frac{34}{2}=17\quad 匝$$

2. 确定导线规格和电动机容量

（1）计算槽有效面积　用白纸印出铁心槽形尺寸，见图 5-40。取槽楔厚度 $h=3\text{mm}$，槽绝缘厚度 $C_i=0.52\text{mm}$。

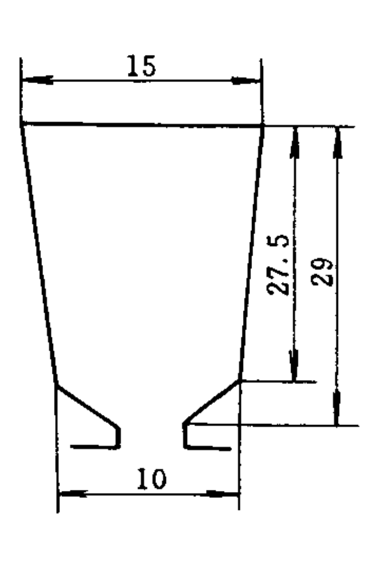


图 5-40　电动机槽形

$$A_s=\frac{b_s+b_{s1}}{2}(h_s'-h)=\frac{15+10}{2}\text{mm}\times(29-3)\text{mm}=325\text{mm}^2$$

$$A_i=C_i(2h_s'+2b_s+b_{s1})=0.52\text{mm}\times(2\times 29+2\times 15+10)\text{mm}=51\text{mm}^2$$

槽有效面积　$A=A_s-A_i=325\text{mm}^2-51\text{mm}^2=274\text{mm}^2$

（2）确定导线尺寸　这台电动机内径较大，绕组为 4 极双层绕组，嵌线较方便，但由于梯形槽中导线填充情况较梨形槽差，因此选取槽满率 $k_Q=0.76$。又因导线直径一般不宜大于 $\Phi 1.50\text{mm}$，通过试算取导线并绕根数 $N=3$，因此导线

绝缘后的外径 d_0 为

$$d_0=\sqrt{\frac{Ak_Q}{z_QN}}=\sqrt{\frac{274\times 0.76}{34\times 3}}\text{mm}=1.44\text{mm}$$

导线采用 QZ 型高强度漆包铜线，由表 5-6 查得绝缘厚度为 0.08mm（双边厚度），因此选取 $\Phi=1.35\text{mm}$。由附录 C 查得其截面积 $A_1=1.431\text{mm}^2$。

（3）计算每相电流　根据该电动机具体情况，选取 $J=4.5\text{A/mm}^2$，这样，每相电流

$$I_\varphi=A_1NaJ=1.431\text{mm}^2\times 3\times 2\times 4.5\text{A/mm}^2=38.5\text{A}$$

（4）估算电动机的功率　由于三相绕组为星形接法，则 $U_\varphi=\frac{380}{\sqrt{3}}\text{V}=220\text{V}$。参考相近的电动机，取 $\eta=0.89$，$\cos\varphi=0.88$，估算电动机的额定功率

$$P_N=3U_\varphi I_\varphi\cos\varphi\eta\times 10^{-3}=3\times 220\text{V}\times 38.5\text{A}\times 0.88\times 0.89\times 10^{-3}=20\text{kW}$$

3. 将三相绕组改制成正弦绕组　通过无铭牌电动机三相绕组计算，已得三相绕组数据：

极数	$2p=4$
定子槽数	$Q_1=36$
每槽导体数	$z_Q=34$
导线线规	3—ϕ1.35mm
绕组形式	双层叠绕组
接法	Y
并联支路	$a=2$

现将三相绕组改制成正弦绕组：

（1）正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{36}{4\times 3}=3$ 为奇数，正弦绕组采用单双层混合排列，

即取 $q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$。绕组联结为延边三角形接法，见图 5-10，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=2$，其绕组排列和联结见图 5-15。

（2）正弦绕组的绕组数据确定

① 每线圈匝数 正弦绕组采用单双层混合排列，$q_{\triangle}=2$、$q_{Y}=3$。星形部分 3 个线圈的匝数分别为 N_{Y1}、N_{Y2}、N_{Y1}；三角形部分 2 个线圈的匝数都为 $N_{\triangle}$。为了使槽电流沿圆周呈正弦分布，星形部分和三角形部分每个线圈的匝数比为 $N_{Y2}:N_{Y1}:N_{\triangle}=1:0.3472:1.1848$。首先确定 N_{Y2}，便可算得 N_{Y1}和 $N_{\triangle}$。N_{Y2}的确定仍按正弦绕组简易计算公式求得。

原三相绕组为星形联结，并联支路数 $a=2$，每槽导体数 $z_Q=34$，在正弦绕组中采用延边三角形联结，并联支路数$a_{\triangle}=a_{Y}=a=2$，根据正弦绕组简易计算公式可得

$$z_{Y2}=0.97z_Q=0.97\times 34=32.98$$

取 $$z_{Y2}=33$$

因为三角形部分和星形部分绕组均为单层绕组，每线圈匝数等于每槽导体数，故

$$N_{Y2}=z_{Y2}=33$$

而 $$N_{Y1}=0.3472N_{Y2}=0.3472\times 33=11.46$$

取 $$N_{Y1}=12$$

$$N_{\triangle}=1.1848N_{Y2}=1.1848\times 33=39.09$$

取 $$N_{\triangle}=39$$

② 导线线规 原三相绕组为星形联结，并联支路数$a=2$，导线线规为 3—ϕ1.35mm，其截面积为 $A_c\doteq 4.293\text{mm}^2$。正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=2$，根据正弦绕组简易计算公式可得

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times 4.293$ $mm^2=4.426mm^2$。

选用线规　2—ϕ1.35mm、1—ϕ1.40mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 4.293mm^2=2.555mm^2$。

选用线规　1—ϕ1.25mm、1—ϕ1.30mm。

第三节　改极电动机三相绕组改制成正弦绕组

在生产实践中，有时遇到异步电动机的转速与它所拖动的机器设备不相适应，可采用改变异步电动机极数的办法来改变电动机的转速，使之适应设备的需要。

改极电动机三相绕组改制成正弦绕组，可先将改极后的三相绕组的有关数据计算出来，然后仍按照有铭牌电动机三相绕组改制成正弦绕组的方法步骤来进行正弦绕组排列和计算正弦绕组数据。

一、三相绕组改极计算

异步电动机的定子绕组和转子绕组的极数必须相同，否则不能产生转动力矩。绕线型转子绕组的极数是固定的，如果定子绕组改变了极数，那么转子绕组也要重绕改极。而笼型转子绕组的极数随定子绕组的改变而自动改变，因此一般只对笼型异步电动机进行改极变速。

异步电动机改变极数计算时，应注意的事项如下：

1. 定子、转子槽配合问题　一台经过正规设计制造出来的合格电动机，一般定子、转子槽数都有良好的配合。这种配合是与极数有关的。因此，当电动机改变极数时，应重新

考虑定子、转子槽数的配合是否适用于改变后的极数。如果配合不恰当，就会使电动机产生电磁噪声、振动、起动困难等毛病，严重时甚至根本无法起动或运行时损耗增大，使电动机温升过高。

定子、转子槽配合是一个相当复杂的问题，通常是根据理论分析和实践经验得出一些选择的原则和数据，这些原则主要是：

$$Q_1-Q_2\neq 0$$

$$Q_1-Q_2\neq 1$$

$$Q_1-Q_2\neq \pm 2p$$

$$Q_1-Q_2\neq \pm 1\pm 2p$$

式中 Q_1——定子槽数；

Q_2——转子槽数；

p——极对数。

笼型三相异步电动机定子、转子槽配合数据的推荐值见表 5-8，可供计算时参考。

上述原则和表列数据不是绝对的，有时虽然不符合表 5-8 的数值，但运行性能也相当好，或者虽然不符合上述原则，但采取特殊措施后，电动机仍然能正常运行。不过，一般说来，假如不采取特殊措施，定子、转子槽配合违反了上述原则，那么电动机的运行性能将会变坏。因此，最好按照表 5-8 推荐的槽配合来选择改极的电动机。

2. 电动机的功率问题　改变电动机极数时，必须考虑到电动机功率将与转速近似地成正比变化。也就是说，当电动机由低速改高速时，电动机的容量可以提高；而由高速改低速时，电动机的容量将相应减小。因此，在改变电动机极数时，要注意改制后的容量是否适合所配用的机器设备。

表　5-8

极数 (2p)	定子槽数 Q_1	转子槽数 Q_2(直槽)	转子槽数 Q_2(斜槽)
2	18		16,26
	24	〔16〕,32	(18),*20,(30),31,33,34,35
	30	*22,38	(18),20,21,23,(24),37,39,40
	36	*28,44,*46	25,27,29,43,45,47
	42	32,34,50,52	
	48	38,40,56,58	37,39,41,55,57,59
4	24	〔32〕	16,〔20〕,*22,30,33,34,35,36
	36	*26,44,46	(24),27,28,30,〔32〕,45,48
	42	(34),(50),52,54	(33),34,(38),(51),53
	48	34,38,56,58,62,64	(36),(39),40,〔44〕,57,59
	60	50,52,68,70,74	48,49,51,56,64,69,71
	72	62,64,80,82,86	61,63,68,76,81,83
6	36	*26,42,〔48〕	*33,47,49,50
	54	*44,64,66,68	42,43,65,67
	72	56,58,62,82,84,86,88	57,59,60,61,83,85,87
	90	74,76,78,80,100,102,104	75,77,79,101,102,105
8	48	34,62,〔64〕	35,*44,46,61,63,65
	54		*58,*62
	72	58,86,88,90	56,57,59,85,87,89
	84	66,(68),70,98,100,102,104	(68),(69),(71),(97),(99),(101)
	96	78,82,110,112,114	79,80,81,83,100,111,113

注：1. 表中有 * 号者，经生产实践证明性能较好，应优先选用。

2. 圆括弧中的槽数，具有较坏的起动性能。

3. 方括弧中的槽数，不能在制动情况下运行。

3. 铁心有关部分磁通密度的核算　一台正规设计的电动机，铁心磁路各部分的磁通密度，一般都是安排得比较合理的。这种合理性，主要体现在各部分的磁通密度都有一个适当的范围，使电动机能有较好的技术经济指标。如近年来生产的异步电动机（包括 J_2、JO_2 在内）定子铁心齿部磁通密度 B_t 一般在 16000Gs～17500Gs㊀，铁心轭部磁通密度 B_c 一般在 12000Gs～15000Gs。早年生产的电动机，各部分磁通密度要低 10%左右。

当电动机由少极改成多极（即高速改低速）时，由于极距减小，每极磁通也将减小，因此定子轭部磁通密度较低，而定子铁心齿部磁通密度可能显得较紧张。当电动机由多极改成少极（即低速改高速）时，由于极距增大，每极磁通也将增大，因此定子轭部磁通密度将比较紧张，而定子铁心齿部磁通密度可能比较宽余。由此可知，电动机改变极数后，往往会出现某一部分磁通密度超出一般范围，甚至趋近于饱和状态。因此，在多极改少极时，必须核算轭部磁通密度，在少极改多极时，则必须核算齿部磁通密度。

(1) 定子齿磁通密度的核算　定子齿磁通密度 B_t(Gs) 为

$$B_t = \frac{1.57\Phi}{\frac{Q_1}{2p} b_{dr} l_{Fe} \times 0.92}$$

式中　Φ——每极磁通（Mx）㊁，按 $\Phi = B_p \tau_p l_{Fe} = 0.637 B_\delta \tau_p l_{Fe}$ 计算；

Q_1——定子铁心槽数；

㊀ 1Gs＝10^{-4}T。下同。

㊁ 1Mx＝10^{-8}Wb。下同。

p——极对数；

b_{dr}——定子齿宽（cm）；

l_{Fe}——定子铁心长度（cm）；

1.57——正弦波系数；

0.92——铁心叠压系数。

由少极改多极的电动机，利用上式计算出来的定子齿磁通密度 B_t 一般控制在 18500Gs 左右，最多不超过 22000Gs。如果计算出来的定子齿磁通密度过高，可适当增加线圈匝数，以减小 B_δ 和 Φ，使 B_t 降低到适当的数值。

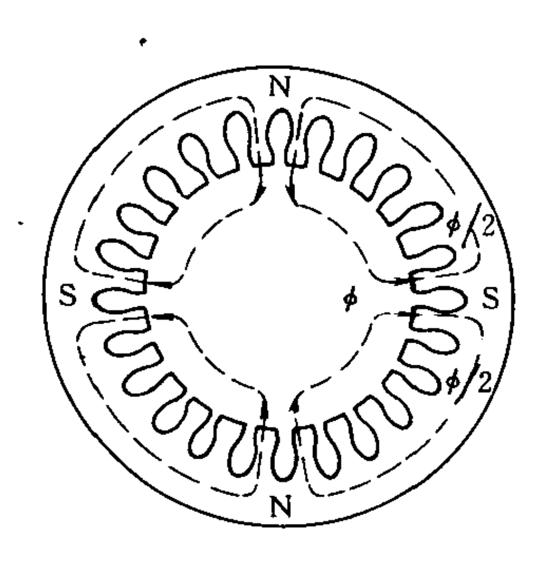


图 5-41　定子轭部磁通

（2）定子磁轭磁通密度的核算　从图 5-41 可以看出，不论 N 极或 S 极，在轭部磁通都是向左右分成对称的两路的。如果每极总磁通为 Φ，则轭部磁通为 $\Phi/2$，轭部磁通密度 B_c（Gs）为

$$B_c=\frac{\Phi/2}{h_{ys}l_{Fe}\times 0.92}=\frac{\Phi}{1.84h_{ys}l_{Fe}}$$

式中　Φ——每极磁通（Mx），按 $\Phi=B_p\tau_p l_{Fe}=0.637B_\delta\tau_p l_{Fe}$ 计算；

h_{ys}——定子磁轭高（cm）；

l_{Fe}——定子铁心长度（cm）；

0.92——铁心叠压系数。

定子磁轭高 h_{ys}（cm）可以实测，也可以利用下式计算

梯形槽时：　$h_{ys}=\frac{d_{es}-d_s}{2}-h_{ds}$

梨形槽时：　　$h_{ys}=\frac{d_{es}-d_s}{2}-h_{ds}+\frac{R}{3}$

式中　d_{es}——定子铁心外径（cm）；

d_s——定子铁心内径（cm）；

h_{ds}、R——槽形尺寸，参看图 5-39，单位为 cm。

由多极改少极的电动机，利用上式计算出来的轭部磁通密度 B_c 可控制在 15000Gs 左右，最高不超过 18000Gs。如果计算出来的 B_c 过高，也可适当增加线圈匝数，使 B_c 降低到适宜数值。

除了定子齿磁通密度和定子磁轭磁通密度外，重绕所需的其余各项数据的计算均同前述。

但必须指出，异步电动机改变极数重绕线圈后，由于铁心各部分磁通密度不能都保持在恰当的范围内，因而电动机的效率、功率因数、空载电流、起动电流、力矩和温升等技术性能都将有较大的变动。

例 24　今有一台 JO—62—6 型异步电动机，额定功率 $P_N=7kW$，$U_N=380V$，星形接法。定子铁心外径 $d_{es}=327mm$，定子铁心内径 $d_s=210mm$，铁心长度 $l_{Fe}=100mm$，极对数 $p=3$，定子槽数 $Q_1=36$，定子磁轭高 $h_{ys}=33mm$，双层叠绕组，每线圈匝数 $N_y=14$。如将其改为 4 极电动机，试计算重绕所需数据及电动机功率，并将三相绕组改制成正弦绕组。

解

1. 将 6 极电动机改为 4 极电动机

（1）检查定转子槽配合　查明转子槽数 $Q_2=44$，对照表 5-8，直槽转子 4 极 36/44 的槽配合起动性能较坏。如现有转子为斜槽尚可采用。

（2）相电压　$U_\varphi=\frac{U_N}{\sqrt{3}}=\frac{380V}{\sqrt{3}}=220V$

（3）极距　　$\tau_p=\frac{\pi d_s}{2p}=\frac{3.14\times21\text{cm}}{4}=16.5\text{ cm}$

（4）根据表 5-5，选取 $B_\delta=7500\text{Gs}$，每极磁通

$\Phi=0.637B_\delta\tau_p l_{Fe}=0.637\times7500\text{Gs}\times16.5\text{cm}\times10\text{cm}=7.9\times10^5\text{Mx}$

（5）因为是多极改少极，应核算定子磁轭部磁通密度 B_c，

$$B_c=\frac{\Phi}{1.84h_{ys}l_{Fe}}=\frac{7.9\times10^5\text{Mx}}{1.84\times3.3\text{cm}\times10\text{cm}}=13000\text{Gs}$$

计算得出的 B_c 值不甚高，说明所选取的 B_δ 值是可用的。

（6）选用双层叠绕组，求绕组系数 K_{dp}。由于 $2p=4$，$Q_1=36$，所以 $\tau_p=\frac{Q_1}{2p}=\frac{36}{4}=9$ 槽，$\frac{5}{6}\tau_p=7.5$ 槽，取线圈节距 $Y=7$，即跨距为 1～8 槽，查表 5-4，得短距系数 $K_p=0.94$。

由于 $q=\frac{Q_1}{2mp}=\frac{36}{2\times3\times2}=3$，查表 5-3，得分布系数 $K_d=0.96$。因此，绕组系数 $K_{dp}=K_dK_p=0.96\times0.94=0.903$。

（7）计算每相串联匝数　因为电动机不大，取 $K_E=0.86$，则

$$N_1=\frac{K_EU_\varphi\times10^6}{2.22K_{dp}\Phi}=\frac{0.86\times220\text{V}\times10^6}{2.22\times0.903\times7.9\times10^5\text{Mx}}=119\text{ 匝}$$

（8）取并联支路数 $a=1$，计算每槽导体数

$$z_Q=\frac{6N_1a}{Q_1}=\frac{6\times119\times1}{36}=20$$

根据 $z_Q=20$，重算每相串联匝数 $N_1=\frac{z_QQ_1}{6a}=\frac{20\times36}{6\times1}=120$ 匝。

（9）每相线圈数为$\frac{Q_1}{3}=\frac{36}{3}=12$ 个。

（10）每个线圈匝数为 $N_y=\frac{3aN_1}{Q_1}=\frac{3\times1\times120}{36}=10$ 匝。

(11) 确定导线尺寸　已知每槽导体数 z_Q，可参照上面所述方法测出槽有效面积，然后可求出导线直径。

例如旧绕组未拆除和槽形面积未测出时，也可根据已算出的数据进行估算。

根据异步电动机型号 JO—62—6，可查出原 6 极时导线为单纱漆包线，线规为 1—ϕ1.35mm、1—ϕ1.45mm，其导线截面积为 3.082mm^2。

由于原来每个线圈匝数为 14 匝，而改制后每个线圈匝数为 10 匝，匝数减少了，导线截面积可以放大一些，放大的倍数与匝数减少的程度相对应，也就是放大$\frac{14}{10}=1.4$倍。因此，改为四极后导线截面积为 $3.082\times1.4=4.3148$mm^2，可选用线规 2—ϕ1.35mm、1—ϕ1.40mm。

(12) 改为 4 极后电动机输出的额定功率　由于导线截面积放大了 1.4 倍，电流与电动机功率也可增大 1.4 倍。原来为 7kW，因此改成 4 极后的电动机额定功率约为

$$P_N = 1.4 \times 7\text{kW} = 10\text{kW}$$

2. 三相绕组改制成正弦绕组　通过三相绕组改极计算已得原三相绕组数据：

极数	$2p=4$
定子槽数	$Q_1=36$
每槽导体数	$z_Q=20$
导线线规	2—ϕ1.35mm、1—ϕ1.40mm
绕组形式	双层叠绕组
接法	Y
并联支路数	$a=1$

将三相绕组改制成正弦绕组：

（1）正弦绕组排列和联结　原三相绕组每极每相槽数 $q=\frac{Q_1}{2pm}=\frac{36}{4\times3}=3$ 为奇数，正弦绕组采用单双层混合排列，即取 $q_\triangle=2$、$q_Y=3$。绕组联结为延边三角形接法（见图 3-12），并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$。其绕组排列与联结见图 3-28。为了清楚起见，我们将三角形部分绕组和星形部分绕组分别画出，见图 3-29 和图 3-30。

（2）正弦绕组的绕组数据确定

① 每线圈匝数　正弦绕组采用单双层混合排列，$q_\triangle=2$、$q_Y=3$。星形部分 3 个线圈的匝数分别为 N_{Y1}、N_{Y2}、N_{Y1}；三角形部分 2 个线圈的匝数都为 $N_\triangle$。为了使槽电流沿圆周呈正弦分布，星形部分和三角形部分绕组每个线圈的匝数比为 $N_{Y2}:N_{Y1}:N_\triangle=1:0.3472:1.1848$。首先确定 N_{Y2}，便可算得 N_{Y1}和 $N_\triangle$。N_{Y2}的确定仍按正弦绕组简易计算公式求得。

原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，每槽导体数为 $z_Q=20$，在正弦绕组中采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$，根据正弦绕组简易计算公式可得

$$z_{Y2}=0.97z_Q=0.97\times20=19.4$$

取
$$z_{Y2}=20$$

因为三角形部分和星形部分绕组均为单层绕组，每线圈匝数等于每槽导体数，故

$$N_{Y2}=z_{Y2}=20$$

而
$$N_{Y1}=0.3472N_{Y2}=0.3472\times20=6.944$$

取
$$N_{Y1}=7$$

$$N_\triangle=1.1848N_{Y2}=1.1848\times20=23.70$$

取
$$N_\triangle=24$$

② 导线线规　原三相绕组为星形联结，并联支路数为 $a=1$，导线线规为 2—ϕ1.35mm、1—ϕ1.40mm，其截面积为 $A_c=4.401\text{mm}^2$。现正弦绕组采用延边三角形联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=1$，根据正弦绕组简易计算公式可得

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}A_c=\frac{1}{0.97}\times 4.401\text{mm}^2=4.537\text{mm}^2$。

选用线规　2—ϕ1.35mm、1—ϕ1.40mm。

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}A_c=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 4.401\text{mm}^2=2.620\text{mm}^2$。

选用线规　1—ϕ1.25mm、1—ϕ1.30mm。

附录A　三相绕组改制成正弦绕组简易计算程序

原三相绕组数据：

定子槽数　$Q_1=$______

每槽导体数　$z_Q=$______

导线线规　______

绕组形式　______

接法　______

并联支路数　$a=$______

正弦绕组数据：

1. 每槽导体数　原三相绕组为星形（Y）联结，并联支路数为 $a=$____，每槽导体数为 $z_Q=$____。

正弦绕组为延边三角形（$\triangle$）联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=$______。

星形部分每槽导体数　$z_Y=0.97z_Q$（对单层绕组和双层整距绕组）

$z_Y=0.94z_Q$（对双层短距绕组）

三角形部分每槽导体数　$z_\triangle=0.97\times\sqrt{3}\,z_Q$（对单层绕组和双层整距绕组）

$z_\triangle=0.94\sqrt{3}\,z_Q$（对双层短距绕组）

正弦绕组为星形—三角形（$\triangle$）联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=$______。

星形部分每槽导体数　$z_{Y}=0.97\times 2z_{Q}$（对单层绕组和双层整距绕组）

$z_{Y}=0.94\times 2z_{Q}$（对双层短距绕组）

三角形部分每槽导体数　$z_{\triangle}=0.97\times 2\sqrt{3}z_{Q}$（对单层绕组和双层整距绕组）

$z_{\triangle}=0.94\times 2\sqrt{3}z_{Q}$（对双层短距绕组）

原三相绕组为三角形（△）联结，并联支路数为 $a=$ ______，每槽导体数 $z_{Q}=$ ______。

正弦绕组为延边三角形（⅄）联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=$ ______。

星形部分每槽导体数　$z_{Y}=0.97\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_{Q}$（对单层绕组和双层整距绕组）

$z_{Y}=0.94\times\frac{1}{\sqrt{3}}z_{Q}$（对双层短距绕组）

三角形部分每槽导体数　$z_{\triangle}=0.97z_{Q}$（对单层绕组和双层整距绕组）

$z_{\triangle}=0.94z_{Q}$（对双层短距绕组）

正弦绕组为星形—三角形（⩓）联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=$ ______。

星形部分每槽导体数　$z_{Y}=0.97\times\frac{2}{\sqrt{3}}z_{Q}$（对单层绕组和双层整距绕组）

$z_{Y}=0.94\times\frac{2}{\sqrt{3}}z_{Q}$（对双层短

距绕组）

三角形部分每槽导体数　$z_{\triangle}=0.97\times 2z_Q$（对单层绕组和双层整距绕组）

$z_{\triangle}=0.94\times 2z_Q$（对双层短距绕组）

2. 每线圈匝数　单层绕组每线圈匝数即为每槽导体数，即正弦绕组为延边三角形（⅄）联结时：

星形部分每线圈匝数　$N_{1Y}=z_Y$

三角形部分每线圈匝数　$N_{1\triangle}=z_{\triangle}$

正弦绕组为星形—三角形（◬）联结时：

星形部分每线圈匝数　$N_{1Y}=z_Y$

三角形部分每线圈匝数　$N_{1\triangle}=z_{\triangle}$

双层绕组每线圈匝数为每槽导体数的一半，即正弦绕组为延边三角形（⅄）联结时：

星形部分每线圈匝数　$N_{1Y}=\frac{1}{2}z_Y$

三角形部分每线圈匝数　$N_{1\triangle}=\frac{1}{2}z_{\triangle}$

正弦绕组为星形—三角形（◬）联结时：

星形部分每线圈匝数　$N_{1Y}=\frac{1}{2}z_Y$

三角形部分每线圈匝数　$N_{1\triangle}=\frac{1}{2}z_{\triangle}$

3. 导线线规　原三相绕组为星形（Y）联结，并联支路数为 $a=$______，导线线规为________，其截面积 $A_c=$______。

正弦绕组为延边三角形（⅄）联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_Y=a=$______。

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}A_c$ (mm²)（对单层绕组和双层整距绕组）

$A_Y=\frac{1}{0.94}A_c$ (mm²)（对双层短距绕组）

选用线规 ________

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{\sqrt{3}}A_c$ (mm²)（对单层绕组和双层整距绕组）

$A_\triangle=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{\sqrt{3}}A_c$ (mm²)（对双层短距绕组）

选用线规 ________

正弦绕组为星形—三角形（$\triangle\!\!\!Y$）联结，并联支路数为 $a_\triangle=a_Y=a=$ ______。

星形部分导线截面积　$A_Y=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}A_c$ (mm²)（对单层绕组和双层整距绕组）

$A_Y=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2}A_c$ (mm²)（对双层短距绕组）

选用线规 ________

三角形部分导线截面积　$A_\triangle=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2\sqrt{3}}A_c$ (mm²)（对单层绕组和双层整距绕组）

$A_\triangle=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2\sqrt{3}}A_c$ (mm²)（对双层短距绕组）

选用线规 ________

原三相绕组为三角形（△）联结，并联支路数为 $a=$ ______，导线线规为______，其截面积 $A_c=$ ______。

正弦绕组为延边三角形（$\triangle$）联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=$ ______。

星形部分导线截面积 $A_{Y}=\frac{1}{0.97}\times\sqrt{3}A_c(\text{mm}^2)$（对单层绕组和双层整距绕组）

$A_{Y}=\frac{1}{0.94}\times\sqrt{3}A_c(\text{mm}^2)$（对双层短距绕组）

选用线规 ______

三角形部分导线截面积 $A_{\triangle}=\frac{1}{0.97}A_c(\text{mm}^2)$（对单层绕组和双层整距绕组）

$A_{\triangle}=\frac{1}{0.94}A_c(\text{mm}^2)$（对双层短距绕组）

选用线规 ______

正弦绕组为星形—三角形（$\triangle$）联结，并联支路数为 $a_{\triangle}=a_{Y}=a=$ ______。

星形部分导线截面积 $A_{Y}=\frac{1}{0.97}\times\frac{\sqrt{3}}{2}A_c(\text{mm}^2)$（对单层绕组和双层整距绕组）

$A_{Y}=\frac{1}{0.94}\times\frac{\sqrt{3}}{2}A_c(\text{mm}^2)$（对双层短距绕组）

选用线规 ______

三角形部分导线截面积 $A_{\triangle}=\frac{1}{0.97}\times\frac{1}{2}A_c(\text{mm}^2)$（对单层绕组和双层整距绕组）

$A_{\triangle}=\frac{1}{0.94}\times\frac{1}{2}A_c\,(\mathrm{mm}^2)$（对双层短距绕组）

选用线规 ________

4. 线圈节距（对双层绕组）

$$Y=\frac{11}{12}\tau_p$$

式中，$\tau_p=\frac{Q_1}{2p}$。

附录B　Y系列三相异步电动机三相绕组、正弦绕组技术数据表

型　号	功率/kW	三　相　绕　组						正　弦　绕　组　(参　考　值)						
		定子槽数	每槽导体数	导线线规(根—mm)	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规(根—mm)		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
Y—801—2	0.75	18	111	1—ϕ0.63	单层交叉式	Y	1	λ	1	$N_{Y1}=38$ $N_{Y2}=108$	$N_{\triangle}=128$	1—ϕ0.64	1—ϕ0.49	图 5-1
Y—802—2	1.1	18	90	1—ϕ0.71	单层交叉式	Y	1	λ	1	$N_{Y1}=30$ $N_{Y2}=87$	$N_{\triangle}=103$	1—ϕ0.72	1—ϕ0.55	图 5-1
Y—90S—2	1.5	18	74	1—ϕ0.80	单层交叉式	Y	1	λ	1	$N_{Y1}=25$ $N_{Y2}=72$	$N_{\triangle}=85$	1—ϕ0.80	1—ϕ0.62	图 5-1
Y—90L—2	2.2	18	58	1—ϕ0.95	单层交叉式	Y	1	λ	1	$N_{Y1}=19$ $N_{Y2}=56$	$N_{\triangle}=66$	1—ϕ0.96	1—ϕ0.74	图 5-1
Y—100L—2	3	24	40	1—ϕ1.18	单层同心式	Y	1	λ	1	$N_{1Y}=39$	$N_{1\triangle}=67$	1—ϕ1.20	1—ϕ0.90	图 5-2

（续）

型号	功率/kW	三相绕组						正弦绕组（参考值）							
		定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规(根—mm)		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
								Y△	1	$N_{1Y}=78$	$N_{1\triangle}=134$	1—ϕ0.85	1—ϕ0.64	图 5-2
Y—112M—2	4	30	48	1—ϕ1.06	单层同心式	△	1	人	1	$N_{Y1}=6$ $N_{Y2}=17$ $N_{Y3}=27$	$N_{\triangle1}=19$ $N_{\triangle2}=38$	1—ϕ1.40	1—ϕ1.08	图 5-4
Y—132S1—2	5.5	30	40	1—ϕ0.90 1—ϕ0.95	单层同心式	△	1	人	1	$N_{Y1}=5$ $N_{Y2}=15$ $N_{Y3}=25$	$N_{\triangle1}=18$ $N_{\triangle2}=35$	1—ϕ0.95 2—ϕ1.04	1—ϕ0.93 1—ϕ0.95	图 5-4
Y—132S2—2	7.5	30	37	1—ϕ1.00 1—ϕ1.06	单层同心式	△	1	人	1	$N_{Y1}=4$ $N_{Y2}=13$ $N_{Y3}=21$	$N_{\triangle1}=15$ $N_{\triangle2}=30$	1—ϕ1.04 2—ϕ1.16	1—ϕ1.00 1—ϕ1.08	图 5-4
Y—160M1—2	11	30	28	2—ϕ1.18 1—ϕ1.25	单层同心式	△	1	人	1	$N_{Y1}=3$ $N_{Y2}=10$ $N_{Y3}=16$	$N_{\triangle1}=12$ $N_{\triangle2}=23$	1—ϕ1.35 3—ϕ1.40	2—ϕ1.18 1—ϕ1.30	图 5-4

（续）

型号	功率/kW	三相绕组						正弦绕组（参考值）						
		定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规（根—mm）		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
Y—160M2—2	15	30	23	2—ϕ1.12 2—ϕ1.18	单层同心式	△	1	Y-△	1	$N_{Y1}=3$ $N_{Y2}=8$ $N_{Y3}=13$	$N_{\Delta1}=9$ $N_{\Delta2}=18$	2—ϕ1.35 3—ϕ1.40	2—ϕ1.16 2—ϕ1.18	图 5-4
Y—160L—2	18.5	30	19	3—ϕ1.12 2—ϕ1.18	单层同心式	△	1	Y-△	1	$N_{Y1}=2$ $N_{Y2}=7$ $N_{Y3}=11$	$N_{\Delta1}=8$ $N_{\Delta2}=15$	1—ϕ1.35 5—ϕ1.40	3—ϕ1.16 2—ϕ1.18	图 5-4
Y—180M—2	22	36	16	2—ϕ1.30 2—ϕ1.40	双层叠绕	△	1	Y-△	1	$N_{1Y}=5$	$N_{1\Delta}=8$	6—ϕ1.40	2—ϕ1.30 2—ϕ1.40	图 5-6
								△Y	1	$N_{1Y}=9$	$N_{1\Delta}=15$	1—ϕ1.20 3—ϕ1.30	1—ϕ1.12 2—ϕ1.16	图 5-6
Y—200L1—2	30	36	28	2—ϕ1.12 2—ϕ1.18	双层叠绕	△	2	Y-△	2	$N_{1Y}=8$	$N_{1\Delta}=13$	4—ϕ1.35 1—ϕ1.40	2—ϕ1.18 2—ϕ1.20	图 5-8
								△Y	2	$N_{1Y}=15$	$N_{1\Delta}=26$	1—ϕ1.08 3—ϕ1.12	1—ϕ1.18 1—ϕ1.20	图 5-8

（续）

型号	功率/kW	三相绕组						正弦绕组（参考值）							
		定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规（根—mm）		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
Y—200L2—2	37	36	24	1—ϕ1.40 2—ϕ1.50	双层叠绕	△	2	λ	2	$N_{1Y}=7$	$N_{1\triangle}=11$	5—ϕ1.35 1—ϕ1.40	2—ϕ1.30 2—ϕ1.35	图 5-8
								△(Y)	2	$N_{1Y}=13$	$N_{1\triangle}=23$	3—ϕ1.40	2—ϕ1.30	图 5-8
Y—225M—2	45	36	22	3—ϕ1.40 1—ϕ1.50	双层叠绕	△	2	λ	2	$N_{1Y}=6$	$N_{1\triangle}=10$	5—ϕ1.45 2—ϕ1.50	1—ϕ1.45 3—ϕ1.50	图 5-8
								△(Y)	2	$N_{1Y}=12$	$N_{1\triangle}=21$	3—ϕ1.35 1—ϕ1.40	2—ϕ1.45	图 5-8
Y—250M—2	55	36	20	6—ϕ1.40	双层叠绕	△	2	λ	2	$N_{1Y}=6$	$N_{1\triangle}=9$	5—ϕ1.45 4—ϕ1.50	3—ϕ1.45 3—ϕ1.50	图 5-8
								△(Y)	2	$N_{1Y}=11$	$N_{1\triangle}=19$	3—ϕ1.45 2—ϕ1.50	1—ϕ1.30 2—ϕ1.50	图 5-8
Y—280S—2	75	42	14	7—ϕ1.50	双层叠绕	△	2	λ	2	$N_{1Y}=4$	$N_{1\triangle}=7$	13—ϕ1.45	7—ϕ1.50	图 5-13

（续）

型号	功率/kW	三相绕组						正弦绕组（参考值）						
		定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规（根—mm）		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
Y—280M—2	90	42	12	8—ϕ1.50	双层叠绕	△	2	⅄	2	$N_{1Y}=3$	$N_{1\triangle}=6$	12—ϕ1.45 5—ϕ1.50	8—ϕ1.50	图 5-13
Y—801—4	0.55	24	128	1—ϕ0.56	单层链式	Y	1	⅄	1	$N_{1Y}=124$	$N_{1\triangle}=215$	1—ϕ0.57	1—ϕ0.41	图 3-9
								△Y	1	$N_{1Y}=248$	$N_{1\triangle}=430$	1—ϕ0.38	1—ϕ0.31	图 3-9
Y—802—4	0.75	24	103	1—ϕ0.63	单层链式	Y	1	⅄	1	$N_{1Y}=100$	$N_{1\triangle}=173$	1—ϕ0.64	1—ϕ0.49	图 3-9
								△Y	1	$N_{1Y}=200$	$N_{1\triangle}=346$	1—ϕ0.44	1—ϕ0.35	图 3-9
Y—90S—4	1.1	24	81	1—ϕ0.71	单层链式	Y	1	⅄	1	$N_{1Y}=79$	$N_{1\triangle}=136$	1—ϕ0.72	1—ϕ0.55	图 3-9
								△Y	1	$N_{1Y}=157$	$N_{1\triangle}=272$	1—ϕ0.51	1—ϕ0.38	图 3-9
Y—90L—4	1.5	24	63	1—ϕ0.80	单层链式	Y	1	⅄	1	$N_{1Y}=61$	$N_{1\triangle}=106$	2—ϕ0.57	1—ϕ0.62	图 3-9
								△Y	1	$N_{1Y}=122$	$N_{1\triangle}=212$	1—ϕ0.57	2—ϕ0.31	图 3-9

（续）

型号	功率/kW	三相绕组						正弦绕组（参考值）						
		定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规（根—mm）		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
Y—100L1—4	2.2	36	41	2—ϕ0.71	单层交叉式	Y	1	Y△	1	$N_{Y1}=14$ $N_{Y2}=40$	$N_{\triangle}=47$	2—ϕ0.72	2—ϕ0.55	图 3-28
Y—100L2—4	3	36	31	1—ϕ1.18	单层交叉式	Y	1	Y△	1	$N_{Y1}=10$ $N_{Y2}=30$	$N_{\triangle}=36$	1—ϕ1.20	2—ϕ0.64	图 3-28
Y—112M—4	4	36	46	1—ϕ1.06	单层交叉式	△	1	Y△	1	$N_{Y1}=9$ $N_{Y2}=26$	$N_{\triangle}=31$	2—ϕ1.00	1—ϕ0.75 1—ϕ0.77	图 3-28
Y—132S—4	5.5	36	47	1—ϕ0.90 1—ϕ0.95	单层交叉式	△	1	Y△	1	$N_{Y1}=9$ $N_{Y2}=26$	$N_{\triangle}=31$	1—ϕ1.18 1—ϕ1.30	1—ϕ0.93 1—ϕ0.95	图 3-28
Y—132M—4	7.5	36	35	2—ϕ1.06	单层交叉式	△	1	Y△	1	$N_{Y1}=7$ $N_{Y2}=20$	$N_{\triangle}=24$	2—ϕ1.40	1—ϕ1.06 1—ϕ1.08	图 3-28
Y—160M—4	11	36	56	1—ϕ1.30	单层交叉式	△	2	Y△	2	$N_{Y1}=11$ $N_{Y2}=31$	$N_{\triangle}=37$	1—ϕ1.20 1—ϕ1.25	1—ϕ0.90 1—ϕ0.96	图 5-15
Y—160L—4	15	36	22	1—ϕ1.18 2—ϕ1.25	单层交叉式	△	1	Y△	1	$N_{Y1}=4$ $N_{Y2}=12$	$N_{\triangle}=14$	2—ϕ1.40 2—ϕ1.45	3—ϕ1.25	图 3-28

（续）

型号	功率/kW	三相绕组						正弦绕组（参考值）						
		定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规（根—mm）		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
Y—180M—4	18.5	48	32	2—φ1.18	双层叠绕	△	2	⅄	2	$N_{1Y}=9$	$N_{1\triangle}=15$	1—φ1.25 2—φ1.30	1—φ1.12 1—φ1.30	图 5-16
								⟁	2	$N_{1Y}=17$	$N_{1\triangle}=30$	1—φ1.12 1—φ1.16	1—φ1.20	图 5-16
Y—180L—4	22	48	28	2—φ1.30	双层叠绕	△	2	⅄	2	$N_{1Y}=8$	$N_{1\triangle}=13$	2—φ1.18 2—φ1.25	2—φ1.35	图 5-16
								⟁	2	$N_{1Y}=15$	$N_{1\triangle}=26$	1—φ1.20 1—φ1.30	1—φ1.35	图 5-16
Y—200L—4	30	48	48	1—φ1.06 1—φ1.12	双层叠绕	△	4	⅄	4	$N_{1Y}=13$	$N_{1\triangle}=23$	2—φ1.18 1—φ1.25	1—φ1.06 1—φ1.16	图 5-18
								⟁	4	$N_{1Y}=26$	$N_{1\triangle}=45$	1—φ1.04 1—φ1.06	1—φ1.12	图 5-18
Y—225S—4	37	48	46	2—φ1.25	双层叠绕	△	4	⅄	4	$N_{1Y}=13$	$N_{1\triangle}=22$	4—φ1.18	1—φ1.25 1—φ1.30	图 5-18

（续）

型号	功率/kW	三相绕组						正弦绕组（参考值）							
		定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规（根—mm）		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
								$\triangle Y$	4	$N_{1Y}=25$	$N_{1\triangle}=43$	2—ϕ1.20	1—ϕ0.90 1—ϕ0.93	图 5-18
Y—225M—4	45	48	40	1—ϕ1.30 1—ϕ1.40	双层叠绕	△	4	⅄	4	$N_{1Y}=11$	$N_{1\triangle}=19$	1—ϕ1.25 3—ϕ1.30	1—ϕ1.30 1—ϕ1.45	图 5-18
								$\triangle Y$	4	$N_{1Y}=22$	$N_{1\triangle}=38$	1—ϕ1.16 1—ϕ1.40	1—ϕ0.96 1—ϕ1.00	图 5-18
Y—250M—4	55	48	36	3—ϕ1.30	双层叠绕	△	4	⅄	4	$N_{1Y}=10$	$N_{1\triangle}=17$	4—ϕ1.35 1—ϕ1.40	1—ϕ1.30 2—ϕ1.35	图 5-18
								$\triangle Y$	4	$N_{1Y}=20$	$N_{1\triangle}=34$	1—ϕ1.20 2—ϕ1.25	2—ϕ1.16	图 5-18
Y—280S—4	75	60	26	2—ϕ1.25 2—ϕ1.30	双层叠绕	△	4	⅄	4	$N_{1Y}=7$	$N_{1\triangle}=12$	4—ϕ1.40 2—ϕ1.45	2—ϕ1.30 2—ϕ1.35	图 5-23
Y—280M—4	90	60	20	5—ϕ1.30	双层叠绕	△	4	⅄	4	$N_{1Y}=6$	$N_{1\triangle}=10$	4—ϕ1.40 3—ϕ1.45	5—ϕ1.30	图 5-23

（续）

型号	功率/kW	三相绕组						正弦绕组（参考值）						
		定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规（根—mm）		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
Y—90S—6	0.75	36	77	1—φ0.67	单层链式	Y	1	Y△	1	$N_{1Y}=75$	$N_{1\triangle}=129$	1—φ0.67	1—φ0.51	图 5-25
								△Y	1	$N_{1Y}=149$	$N_{1\triangle}=259$	1—φ0.49	1—φ0.35	图 5-25
Y—90L—6	1.1	36	60	1—φ0.75	单层链式	Y	1	Y△	1	$N_{1Y}=58$	$N_{1\triangle}=101$	1—φ0.75	1—φ0.57	图 5-25
								△Y	1	$N_{1Y}=116$	$N_{1\triangle}=202$	1—φ0.53	1—φ0.41	图 5-25
Y—100L—6	1.5	36	53	1—φ0.85	单层链式	Y	1	Y△	1	$N_{1Y}=51$	$N_{1\triangle}=89$	1—φ0.86	1—φ0.64	图 5-25
								△Y	1	$N_{1Y}=103$	$N_{1\triangle}=178$	1—φ0.60	1—φ0.47	图 5-25
Y—112M—6	2.2	36	44	1—φ1.06	单层链式	Y	1	Y△	1	$N_{1Y}=43$	$N_{1\triangle}=74$	1—φ1.06	1—φ0.80	图 5-25
								△Y	1	$N_{1Y}=85$	$N_{1\triangle}=148$	1—φ0.77	1—φ0.57	图 5-25
Y—132S—6	3	36	38	1—φ0.85 1—φ0.90	单层链式	Y	1	Y△	1	$N_{1Y}=37$	$N_{1\triangle}=64$	1—φ1.25	1—φ0.95	图 5-25

（续）

型号	功率/kW	三相绕组						正弦绕组（参考值）						
		定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规（根—mm）		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
								Y△	1	$N_{1Y}=74$	$N_{1\triangle}=128$	1—ϕ0.90	1—ϕ0.67	图 5-25
Y—132M1—6	4	36	52	1—ϕ1.06	单层链式	△	1	Y	1	$N_{1Y}=29$	$N_{1\triangle}=50$	1—ϕ0.96 1—ϕ1.04	1—ϕ1.08	图 5-25
								Y△	1	$N_{1Y}=58$	$N_{1\triangle}=101$	1—ϕ1.00	1—ϕ0.75	图 5-25
Y—132M2—6	5.5	36	42	1—ϕ1.25	单层链式	△	1	Y	1	$N_{1Y}=24$	$N_{1\triangle}=41$	1—ϕ1.16 1—ϕ1.18	1—ϕ1.25	图 5-25
								Y△	1	$N_{1Y}=47$	$N_{1\triangle}=82$	1—ϕ1.18	1—ϕ0.90	图 5-25
Y—160M—6	7.5	36	38	2—ϕ1.12	单层链式	△	1	Y	1	$N_{1Y}=21$	$N_{1\triangle}=37$	1—ϕ1.20 2—ϕ1.25	1—ϕ1.12 1—ϕ1.16	图 5-25
								Y△	1	$N_{1Y}=43$	$N_{1\triangle}=74$	1—ϕ1.04 1—ϕ1.06	1—ϕ1.12	图 5-25
Y—160L—6	11	36	28	4—ϕ0.95	单层链式	△	1	Y	1	$N_{1Y}=16$	$N_{1\triangle}=27$	3—ϕ1.25 1—ϕ1.30	1—ϕ1.35 1—ϕ1.40	图 5-25

（续）

型号	功率/kW	三相绕组						正弦绕组（参考值）							
		定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规（根—mm）		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
								Y△	1	$N_{1Y}=31$	$N_{1\triangle}=54$	1—ϕ1.25 1—ϕ1.30	1—ϕ0.93 1—ϕ1.00	图 5-25
Y—180L—6	15	54	34	1—ϕ1.50	双层叠绕	△	2	⅄	3	$N_{Y1}=10$ $N_{Y2}=29$	$N_{\triangle}=34$	1—ϕ1.12 1—ϕ1.16	1—ϕ1.25	图 5-27
Y—200L1—6	18.5	54	32	1—ϕ1.12 1—ϕ1.18	双层叠绕	△	2	⅄	3	$N_{Y1}=9$ $N_{Y2}=27$	$N_{\triangle}=32$	2—ϕ1.25	1—ϕ1.35	图 5-27
Y—200L2—6	22	54	28	2—ϕ1.25	双层叠绕	△	2	⅄	3	$N_{Y1}=8$ $N_{Y2}=24$	$N_{\triangle}=28$	2—ϕ1.35	1—ϕ1.00 1—ϕ1.08	图 5-27
Y—225M—6	30	54	26	1—ϕ1.30 2—ϕ1.40	双层叠绕	△	2	⅄	3	$N_{Y1}=8$ $N_{Y2}=22$	$N_{\triangle}=26$	3—ϕ1.25 1—ϕ1.30	1—ϕ1.35 1—ϕ1.40	图 5-27
Y—250M—6	37	72	28	1—ϕ1.12 2—ϕ1.18	双层叠绕	△	3	⅄	3	$N_{1Y}=8$	$N_{1\triangle}=13$	1—ϕ1.08 3—ϕ1.40	2—ϕ1.18 1—ϕ1.25	图 5-30
								Y△	3	$N_{1Y}=15$	$N_{1\triangle}=26$	1—ϕ1.35 1—ϕ1.40	2—ϕ1.04	图 5-30

（续）

型号	功率/kW	三相绕组 定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	正弦绕组（参考值） 接法	并联支路	每线圈匝数 星形部分	三角形部分	导线线规（根—mm） 星形部分	三角形部分	绕组排列与联结图号
Y—280S—6	45	72	26	2—ϕ1.30 1—ϕ1.40	双层叠绕	△	3	λ	3	$N_{1Y}=7$	$N_{1\triangle}=12$	4—ϕ1.40 1—ϕ1.45	1—ϕ1.35 2—ϕ1.40	图 5-30
								△Y	3	$N_{1Y}=14$	$N_{1\triangle}=24$	1—ϕ1.25 2—ϕ1.30	2—ϕ1.20	图 5-30
Y—280M—6	55	72	22	1—ϕ1.40 2—ϕ1.50	双层叠绕	△	3	λ	3	$N_{1Y}=6$	$N_{1\triangle}=10$	5—ϕ1.40 1—ϕ1.45	2—ϕ1.30 2—ϕ1.35	图 5-30
								△Y	3	$N_{1Y}=12$	$N_{1\triangle}=21$	3—ϕ1.20 1—ϕ1.25	2—ϕ1.30	图 5-30
Y—132S—8	2.2	48	38	1—ϕ1.12	单层链式	Y	1	λ	1	$N_{1Y}=37$	$N_{1\triangle}=64$	1—ϕ1.12	1—ϕ0.86	图 5-33
								△Y	1	$N_{1Y}=74$	$N_{1\triangle}=128$	1—ϕ1.80	1—ϕ0.62	图 5-33
Y—132M—8	3	48	30	1—ϕ1.30	单层链式	Y	1	λ	1	$N_{1Y}=29$	$N_{1\triangle}=50$	1—ϕ1.30	1—ϕ1.00	图 5-33

（续）

型号	功率/kW	三相绕组						正弦绕组（参考值）						
		定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规（根—mm）		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
								Y△	1	$N_{1Y}=58$	$N_{1\triangle}=101$	1—ϕ0.93	1—ϕ0.71	图 5-33
Y—160M1—8	4	48	49	1—ϕ1.25	单层链式	△	1	Y	1	$N_{1Y}=27$	$N_{1\triangle}=48$	1—ϕ1.18 1—ϕ1.20	1—ϕ1.25	图 5-33
								Y△	1	$N_{1Y}=55$	$N_{1\triangle}=95$	1—ϕ1.18	1—ϕ0.90	图 5-33
Y—160M2—8	5.5	48	39	2—ϕ1.00	单层链式	△	1	Y	1	$N_{1Y}=22$	$N_{1\triangle}=38$	1—ϕ1.30 1—ϕ1.35	1—ϕ1.00 1—ϕ1.04	图 5-33
								Y△	1	$N_{1Y}=44$	$N_{1\triangle}=76$	1—ϕ0.93 1—ϕ0.95	1—ϕ1.00	图 5-33
Y—160L—8	7.5	48	30	1—ϕ1.12 1—ϕ1.18	单层链式	△	1	Y	1	$N_{1Y}=17$	$N_{1\triangle}=29$	3—ϕ1.25	1—ϕ1.16 1—ϕ1.18	图 5-33
								Y△	1	$N_{1Y}=34$	$N_{1\triangle}=58$	2—ϕ1.08	1—ϕ1.18	图 5-33

（续）

型号	功率/kW	三相绕组						正弦绕组（参考值）							
		定子槽数	每槽导体数	导线线规（根—mm）	绕组形式	接法	并联支路	接法	并联支路	每线圈匝数		导线线规（根—mm）		绕组排列与联结图号
										星形部分	三角形部分	星形部分	三角形部分	
Y—180L—8	11	54	46	2—ϕ0.90	双层叠绕	△	2	Y△	2	$N_{1Y}=13$	$N_{1\triangle}=22$	2—ϕ1.20	1—ϕ1.30	图 5-35
Y—200L—8	15	54	38	1—ϕ1.06 1—ϕ1.12	双层叠绕	△	2	Y△	2	$N_{1Y}=11$	$N_{1\triangle}=19$	1—ϕ1.16 2—ϕ1.18	1—ϕ1.06 1—ϕ1.12	图 5-35
Y—225S—8	18.5	54	38	2—ϕ1.40	双层叠绕	△	2	Y△	2	$N_{1Y}=11$	$N_{1\triangle}=19$	4—ϕ1.30	2—ϕ1.40	图 5-35
Y—225M—8	22	54	32	2—ϕ1.50	双层叠绕	△	2	Y△	2	$N_{1Y}=9$	$N_{1\triangle}=15$	3—ϕ1.25 2—ϕ1.30	2—ϕ1.25 1—ϕ1.30	图 5-35
Y—250M—8	30	72	22	3—ϕ1.30	双层叠绕	△	2	Y△	2	$N_{Y1}=4$ $N_{Y2}=13$	$N_{\triangle}=15$	4—ϕ1.30 1—ϕ1.35	3—ϕ1.30	图 5-37
Y—280S—8	37	72	40	2—ϕ1.30	双层叠绕	△	4	Y△	4	$N_{Y1}=8$ $N_{Y2}=22$	$N_{\triangle}=26$	1—ϕ1.35 2—ϕ1.40	1—ϕ1.30 1—ϕ1.35	图 5-38
Y—280M—8	45	72	34	1—ϕ1.40 1—ϕ1.50	双层叠绕	△	4	Y△	4	$N_{Y1}=7$ $N_{Y2}=19$	$N_{\triangle}=23$	1—ϕ1.30 3—ϕ1.35	1—ϕ1.40 1—ϕ1.50	图 5-38

附录C 常用圆铜线规格表

直径 /mm	截面积 /mm²	铜线		
		1km的重量 /kg	15℃时1km的电阻值/Ω	75℃时1km的电阻值/Ω
0.10	0.0079	0.070	2270	2810
0.11	0.0095	0.085	1813	2244
0.12	0.0113	0.101	1524	1890
0.13	0.0133	0.118	1296	1605
0.14	0.0154	0.137	1118	1385
0.15	0.0177	0.157	947	1168
0.16	0.0201	0.179	856	1057
0.17	0.0227	0.202	758	940.0
0.18	0.0255	0.226	674	835.0
0.19	0.0284	0.252	606	750.0
0.20	0.0314	0.279	548	688.0
0.21	0.0345	0.308	497	615.0
0.23	0.0415	0.369	415	514.0
0.25	0.0411	0.436	351	434.5
0.27	0.0573	0.509	300	371.5
0.29	0.0661	0.587	260	322.0
0.31	0.0755	0.671	228	282.5
0.33	0.0855	0.760	201	248.5
0.35	0.0962	0.855	178.8	221.5
0.38	0.1134	1.008	151.8	188.0
0.41	0.1320	1.173	130.3	161.4
0.44	0.1521	1.352	113.2	140.2
0.47	0.1735	1.542	99.2	122.5
0.49	0.1886	1.676	91.3	112.5

（续）

直径 /mm	截面积 /mm²	铜线		
		1km 的重量 /kg	15℃时 1km 的电阻值/Ω	75℃时 1km 的电阻值/Ω
0.51	0.204	1.812	84.4	104.5
0.53	0.221	1.975	77.7	96.3
0.55	0.238	2.12	72.3	89.2
0.56	0.246			
0.57	0.255	2.27	67.5	83.6
0.59	0.273	2.42	63.0	78.0
0.60	0.283			
0.62	0.302	2.68	56.9	70.6
0.63	0.312			
0.64	0.322	2.86	53.4	66.2
0.67	0.353	3.13	48.7	60.5
0.69	0.374	3.32	46.0	57.0
0.71	0.396			
0.72	0.407	3.62	42.3	52.5
0.74	0.430	3.82	40.0	49.7
0.75	0.442			
0.77	0.466	4.14	39.6	45.8
0.80	0.503	4.47	34.2	42.4
0.83	0.541	4.81	31.8	39.4
0.85	0.567			
0.86	0.581	5.16	29.6	36.7
0.90	0.636	5.66	27.0	33.5
0.93	0.679	6.04	25.3	31.4
0.95	0.708			
0.96	0.724	6.43	23.8	29.5
1.00	0.785	6.98	21.9	27.2
1.04	0.849	7.55	20.3	25.2
1.06	0.882			
1.08	0.916	8.14	18.79	23.4
1.12	0.985	8.75	17.47	21.7

（续）

直径 /mm	截面积 /mm²	铜线		
		1km 的重量 /kg	15℃时 1km 的电阻值/Ω	75℃时 1km 的电阻值/Ω
1.16	1.057	9.40	16.28	20.2
1.18	1.093			
1.20	1.131	10.05	15.22	18.9
1.25	1.227	10.91	14.02	17.4
1.30	1.327	11.80	12.96	16.1
1.35	1.431	12.73	12.01	14.9
1.40	1.539	13.69	11.18	13.9
1.45	1.651	14.68	10.41	12.9
1.50	1.767	15.71	9.14	12.1
1.56	1.911	16.99	9.00	11.15
1.62	2.06	18.32	8.36	10.45
1.68	2.22	19.71	7.75	9.62
1.74	2.38	21.1	7.23	8.97
1.81	2.57	22.9	6.70	8.32
1.88	2.78	24.7	6.19	7.68

